

# COLOSSUS LAB

## PLAN NUCLEAR ARGENTINO

Reactores e inteligencia artificial.  
Minería de uranio y tierras raras.



edición octubre 2025  
**[www.colossuslab.tech](http://www.colossuslab.tech)**

# ÍNDICE

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Introducción</i>                                                    | 3  |
| <i>El renacimiento nuclear global y la carrera por los SMRs</i>        | 6  |
| <i>CAREM-25 como caso de estudio</i>                                   | 14 |
| <i>El Nuevo Plan Nuclear Argentino y las condiciones para su éxito</i> | 21 |
| <i>Marcos Regulatorios necesarios para competir internacionalmente</i> | 38 |
| <i>CONCLUSIONES: Condiciones para el éxito</i>                         | 55 |
| <i>Apéndice</i>                                                        | 57 |
| <i>Uranio y tierras raras. ¿Tenemos el combustible?</i>                | 65 |

# UN NUEVO MODELO PARA EL DESARROLLO NUCLEAR

## ARGENTINO: ANÁLISIS DEL PLAN DEL GOBIERNO.

### Introducción

La energía nuclear ha aparecido en el debate público argentino, impulsada por anuncios oficiales que retoman la ambición de posicionar al país como referente en tecnología de fisión. En diciembre de 2024, el presidente presentó el Plan Nuclear Argentino, definido como una iniciativa para posicionar al país en la vanguardia energética mundial.

El plan prevé financiamiento y ejecución privada, el abandono de la lógica estatista del desarrollo nuclear y una clara orientación exportadora.

Este informe analiza las condiciones institucionales, regulatorias y financieras necesarias para que esta ambición se traduzca en resultados concretos. Partimos del reconocimiento de que Argentina posee activos técnicos e institucionales significativos construidos durante décadas, y que el desafío central es cómo capitalizarlos efectivamente en un contexto global altamente competitivo.

El desarrollo de los SMR (reactores modulares pequeños) trasciende la narrativa gubernamental sobre "Argentina potencia de IA". Independientemente de si se instalan o no grandes clusters de data centers en el país, el desarrollo exitoso de un SMR representa una oportunidad de exportación de tecnología crítica y desarrollo industrial de enorme valor estratégico.

## Nuestra posición

Este documento busca identificar las condiciones para la ejecución exitosa del plan nuclear. Distinguimos claramente entre viabilidad técnica (que Argentina posee) y sostenibilidad institucional (que requiere legitimación democrática). Ambas dimensiones son necesarias para el éxito de largo plazo

Celebramos las capacidades existentes. Es necesario discutir qué condiciones regulatorias y financieras permitirán aprovecharlas efectivamente.

La reciente decisión de abandonar el proyecto CAREM 25 iniciado por Cristina Kirchner, tras invertir 600 millones de dólares, plantea interrogantes sobre la planificación estratégica del sector en la gestión anterior.

Pensamos que la decisión de abandonarlo ha sido acertada y que se debe explicar por qué fracasó el programa y por qué continuarlo alejaría a la Argentina del grupo de países en competencia por el desarrollo de SMR's con potencial de mercado.

La ausencia de debate público sobre decisiones multimillonarias del pasado que no condujeron a ningún resultado limita nuestra capacidad de aprender de la experiencia y sobre todo a exponer el mal uso de los recursos públicos.

COLOSSUS LAB tiene como uno de sus objetivos centrales el fortalecimiento de las instituciones democráticas. Esto implica defender el derecho a la información, la deliberación pública y la participación ciudadana, incluso —y especialmente— cuando se trata de sectores de alta complejidad como el nuclear. Es en esa clave que abordamos este informe: como una invitación a pensar con mayor claridad, honestidad y apertura el lugar que la energía nuclear puede ocupar en el futuro argentino.

En este informe presentamos el plan nuclear anunciado por el gobierno, desarrollamos conceptos técnicos sobre SMRs y el panorama competitivo global, analizamos críticamente la experiencia del CAREM-25 como caso de estudio del modelo estatal de gestión que debe superarse, evaluamos las condiciones para el éxito del ACR-300, y proponemos marcos regulatorios necesarios para competir internacionalmente.

## Dos aspectos críticos que abordamos en este informe:

1. **Financiamiento:** Analizamos cuatro instrumentos complementarios que pueden generar condiciones competitivas para inversores privados sin requerir desembolso fiscal directo: RIGI como marco de estabilidad fiscal de largo plazo, garantías estatales o privadas de compra que reducen riesgo de demanda, financiamiento multilateral regional que diversifica riesgo país, y esquemas de financiamiento mixto gradual dónde capital público entra contingente al éxito de fases previas financiadas privadamente.

2. **Regulatorio:** Identificamos las modernizaciones específicas que posicionarán a Argentina competitivamente: implementación de procesos de pre-licenciamiento (Vendor Design Review argentino), adopción de marcos basados en desempeño para reactores avanzados, y fortalecimiento de capacidades técnicas de la ARN en áreas específicas de SMR.

Estas reformas facilitan que el ACR-300 avance en procesos de licenciamiento internacional reconocido. Además, la aceleración de los procesos regulatorios reduce el costo del financiamiento de los proyectos.

# EL RENACIMIENTO NUCLEAR GLOBAL Y LA CARRERA POR LOS SMRS

## 1.1 El contexto: por qué vuelve la energía nuclear

Hasta hace pocos años, la tendencia global del sector de energía nuclear era de declive y abandono por parte de muchos países y empresas de sus esfuerzos por producir energía con fisión. Factores como el miedo a accidentes y la presión social, problemas asociados con el tratamiento y depósito de los desechos nucleares de combustible usado, y principalmente atrasos significativos y costos imprevistos —siempre crecientes— en la construcción de los reactores nucleares tradicionales minaron la reputación de la industria, aunque la misma sea una de las maneras más limpias y seguras de producción de energía.

Sin embargo, los desafíos energéticos actuales han revitalizado el interés en la energía nuclear. El crecimiento exponencial del consumo energético impulsado por la inteligencia artificial, la necesidad de descarbonización acelerada, y la búsqueda de fuentes confiables de energía baseload han puesto nuevamente a la energía nuclear en el centro del debate energético global.

Durante las últimas décadas, la demanda creciente de energía mundial —ahora acelerada por la necesidad de mayor poder de cómputo— y la preocupación por el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustibles fósiles impulsaron el desarrollo y crecimiento de alternativas de producción energética basadas en recursos renovables. Hablamos de energía solar, eólica, e hídrica que permitieron, entre otras cosas, estrategias de diversificación en la matriz de producción energética de los países. En algunos casos, donde la presencia de factores favorables para la generación de energía renovable coinciden con lugares cercanos a poblaciones, ello permitió además la descentralización de las redes de infraestructura eléctrica de alta tensión y la integración de múltiples fuentes de generación en redes inteligentes.

Existe una necesidad de ir hacia el desarrollo de redes altamente eficientes, descentralizadas y estables para poder seguir dando vida al mundo de la inteligencia artificial entre otros sectores que están explicando el aumento de demanda global, pero se deben tener en cuenta aspectos críticos: las energías renovables dependen de ciclos y condiciones naturales no controlables por el hombre y, por lo tanto, la inyección de energía a las redes no es constante. Además, en muchos casos, sus condiciones de producción son favorables lejos de las poblaciones impidiendo la descentralización de redes. Así, la energía debe viajar grandes distancias lo que requiere importantes inversiones en infraestructura. La solución al problema debe ser preferentemente limpia (bajas emisiones de CO<sub>2</sub>) y, además, segura, poder escalar para seguir dando respuesta a la demanda de energía y poder construirse de manera "rápida".

Ante esta situación, las grandes empresas tecnológicas de inteligencia artificial han visto en la energía nuclear una posible solución a sus problemas y han comenzado a financiar la reactivación de centrales nucleares que habían sido cerradas con inversión propia o a través de contratos de compra de energía futura<sup>1</sup>

En este contexto emerge esta nueva generación tecnológica que promete resolver muchas de las limitaciones históricas de la energía nuclear.

## 1.2 ¿Qué son los SMRs y por qué representan una revolución potencial?

Los SMR's que están recibiendo la mayor atención y flujos de inversión —y que en su base científica de funcionamiento son iguales a los reactores tradicionales— están diseñados para generar  $\frac{1}{3}$  de la energía que producen los de mayor tamaño, es decir, que están pensados para operar y generar aproximadamente hasta 300MW.

Los reactores clásicos pueden tener la ventaja de la economía de escala en su tamaño y producción de electricidad, disminuyendo el coste del megavatio, en teoría, pero en la práctica son muy susceptibles a retrasos en su construcción y

---

<https://www.reuters.com/business/energy/big-tech-contracts-inject-life-into-new-nuclear-2025-02-19/?utm>

dependen de componentes que en general no son producidos en serie y demandan mucho tiempo de diseño, fabricación y testeo.

La lógica de los SMR es diferente: si se logran las combinaciones de piezas adecuadas (existentes o en diseño), en tamaños que hagan técnicamente posible su producción en serie o estándar y de ello surge un reactor que funciona y es certificado por las autoridades nucleares locales e internacionales, el efecto puede ser revolucionario.

Como son menores en tamaño, podrían transportarse e instalarse en distintos lugares del mundo, sin importar donde hayan sido fabricados. Pero esto todavía no ha sido probado completamente, y muchos países quieren ser los primeros en hacerlo. Los motivos parecen ser suficientes: un enorme mercado potencial y un significativo poder estratégico y geopolítico.

Si algunos países lo logran podrán convertirse en exportadores de reactores nucleares producidos en serie. Esa es la promesa y opera de la siguiente manera: los reactores pequeños pueden producirse en serie por lo cual su costo tenderá a decrecer y, entonces, ocurre la magia, ya no solo las empresas de inteligencia artificial van a poder acceder a ellos.

Creemos que Latinoamérica puede ser un terreno fértil donde hacerlo por cuatro motivos principales: la demanda eléctrica latinoamericana continuará aumentando; Argentina está desarrollando un sector hidrocarburífero que la posicionará en la próxima década como un exportador neto de energía, y eso abre mercados donde también ofrecer tecnología nuclear como complemento; países vecinos han invertido muchísimo dinero en diversificación de su matriz energética enfocada en renovables (que no garantizan continuidad de suministro) y tienen redes de transporte frágiles; y Argentina domina la tecnología nuclear, exportó reactores de investigación, y tiene capital humano muy bien preparado.

Los SMR's, por sus características, se convierten en una excelente opción para países que necesitan diversificar su matriz energética pero sin sobre costos ni planes que nunca se terminan, una opción para países con poblaciones crecientes pero alejadas cuyo costo de conexión aumenta con cada kilómetro. También, países que necesitan hacer sus redes aún más estables, países

con redessobrecargadas que no pueden invertir en infraestructura de transmisión a la misma velocidad que aumenta la demanda y países que quieran depender cada vez menos de combustibles fósiles importados en un escenario internacional cada vez más conflictivo y de reordenamiento del poder global.

No quedan dudas de que existe la creencia entre muchas personas, en muchas empresas y gobiernos, de que la demanda por este tipo de energía generará un mercado gigante y, por ello, están invirtiendo miles de millones en el desarrollo de esta tecnología.

El desarrollo de industrias de la cadena de provisión de suministros y piezas específicas de alto desarrollo tecnológico tiene un potencial enorme y puede dinamizar significativamente las economías nacionales, incluyendo, obviamente, la argentina.

### **1.3 El panorama global: marcos regulatorios modernos, desarrollo acelerado y concentración de inversiones**

La dinámica de desarrollo de SMR ha experimentado una aceleración notable. Según la edición III del SMR Dashboard publicada por la Agencia de Energía Nuclear (NEA) en julio de 2025, el total de diseños de SMR identificados globalmente asciende ahora a 127, distribuidos en más de una docena de países.<sup>2</sup>

De ese total, 74 diseños fueron objeto de evaluación por contar con suficiente información pública y aceptación de los desarrolladores. Cincuenta y un diseños están en fases de pre-licencia o en trámite de licencia ante organismos reguladores en 15 países. Los restantes corresponden a desarrollos en pausa, cancelados, o cuyos equipos prefirieron no participar en la evaluación.

---

[https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_108268/new-nea-small-modular-reactor-dashboard-edition-reveals-global-expansion-of-smr-deployment?utm](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_108268/new-nea-small-modular-reactor-dashboard-edition-reveals-global-expansion-of-smr-deployment?utm)

## La brecha del licenciamiento: líderes vs. rezagados

Los 51 diseños que avanzan en procesos regulatorios están concentrados en 15 países que han desarrollado marcos de licenciamiento específicos para SMR, por ejemplo:

Canadá - CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission) ha desarrollado el Licensing Vendor Design Review (VDR), un proceso voluntario de revisión del diseño en etapas preliminares, sin necesidad de proyecto específico. La transparencia es fundamental: publican reportes de avance por cada tecnología, lo que da seguridad a desarrolladores e inversores antes de iniciar obra.

Reino Unido - ONR (Office for Nuclear Regulation) implementa el Generic Design Assessment (GDA), una revisión integral del diseño abierta a consulta pública. El proceso típico dura cuatro años, con versiones aceleradas para SMR. Una vez aprobado, simplifica dramáticamente las autorizaciones locales de construcción.

Estados Unidos - NRC (Nuclear Regulatory Commission) ofrece el Design Certification (DC) que permite construir en cualquier parte de EE.UU. con mínimas modificaciones, y el Combined License (COL) que tramita simultáneamente permisos de construcción y operación. El Part 53 es un nuevo marco propuesto "tecnológicamente neutro" para reactores avanzados, reconociendo que los SMR requieren enfoques regulatorios diferenciados de los reactores tradicionales.

Argentina: fuera del grupo de líderes regulatorios. No existe proceso público de pre-licenciamiento del diseño. La validación ocurre dentro del expediente de licencia de construcción, cuando ya hay proyecto definido.

Si Argentina quiere aprovechar sus capacidades nucleares tiene que revisar su proceso de licenciamiento. No es la primera vez que marcos regulatorios obsoletos limitan el potencial exportador argentino: sectores como el farmacéutico y el agrotech también enfrentan barreras regulatorias que impiden capitalizar plenamente las capacidades técnicas del país. La modernización regulatoria no es solo una cuestión técnica, sino una condición necesaria para atraer inversión internacional y competir en mercados globales.

## Los desarrollos de SMR líderes por inversión y captación de fondos

### 1. BWRX-300 (GE Vernova – Hitachi)

El desarrollo y licenciamiento requirió USD 400 millones informados por la empresa, integrados por la Tennessee Valley Authority (empresa federal de servicios públicos financiada por la venta de sus servicios), la Ontario Power Generation (empresa propiedad del estado de Ontario) y Synthos Green Energy de Polonia.<sup>3</sup> La construcción del primer reactor demanda USD 4.500 millones, más USD 1.600 millones que corresponden a infraestructura compartida para cuatro reactores proyectados. El dinero comprometido asciende a USD 6.100 millones por la Ontario Power Generation, y el proyecto se encuentra actualmente en construcción.<sup>4</sup>

### 2. TerraPower (Sodium)

El desarrollo y licenciamiento tiene un monto desconocido, probablemente USD 750 millones de la primera ronda de financiamiento en 2022. La construcción del reactor alcanza USD 4,000 millones para un reactor en Wyoming. El financiamiento del proyecto está enmarcado en el Advanced Reactors Demonstration Projects del Departamento de Energía de Estados Unidos en un programa de cofinanciamiento 50/50 público-privado donde los fondos no son reembolsables. Este es uno de dos modelos de reactor beneficiados por el programa. La construcción de las partes "no nucleares" del sitio comenzó en junio de 2024, los pedidos de aprobación nuclear del sitio fueron presentados en 2024 y en 2027 esperan presentar el pedido de licencia de operación, de acuerdo a lo informado por la empresa.<sup>5</sup>

---

3

<https://www.gevernova.com/news/press-releases/tennessee-valley-authority-ontario-power-generation-and-synthos-green-energy-invest?utm>

4 <https://apnews.com/article/canada-us-new-nuclear-reactors-ontario-3134f8777f7009ff0b8c97051e8ac680>

5 <https://www.terrapower.com/faq/>

El dinero recaudado suma USD 1400 millones en dos rondas de inversión: USD 750 millones en 2020 y USD 650 millones hace unos pocos meses, en las cuales aportó incluso la empresa Nvidia a través de Nventures.<sup>6</sup>

### **3. Rolls-Royce SMR (Reino Unido)**

El desarrollo y licenciamiento demandó USD 620 millones. La construcción del reactor (flota múltiple, costo por reactor estimado USD 620 millones) alcanza USD 3,100 millones. El dinero recaudado total es de USD 3,720 millones, con fuerte aporte del gobierno británico por 2.500 millones de libras esterlinas<sup>7</sup> o su equivalente en dólares de 3.3 mil millones. Son subsidios a fondo perdido (grants), diseñados para asegurar que el Reino Unido tenga una tecnología nuclear propia exportable.

### **4. X-Energy (Xe-100)**

El desarrollo y licenciamiento consumió USD 700 millones.<sup>8</sup> La construcción del reactor (sin construcción confirmada) demandaría USD 2.5 mil millones, de los cuales 1.25 mil millones corresponden al programa Advanced Reactors Demonstration Projects del Departamento de Energía de Estados Unidos. El dinero recaudado alcanza USD 700 millones.

## **El sello del OIEA**

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ofrece un servicio de revisión técnica de diseños conocido como Generic Reactor Safety Review (GRSR). Este proceso evalúa la documentación de seguridad de un reactor y determina si cumple con los estándares internacionales del OIEA. No equivale a un licenciamiento nacional —que es prerrogativa exclusiva de cada autoridad regulatoria—, pero funciona como una referencia internacional de seguridad que brinda credibilidad ante reguladores e inversores.

---

<sup>6</sup> <https://www.terrapower.com/terrapower-announces-650-million-fundraise?utm>

<sup>7</sup> <https://www.gov.uk/government/news/rolls-royce-smr-selected-to-build-small-modular-nuclear-reactors>

<sup>8</sup>

<https://x-energy.com/media/news-releases/x-energy-closes-upsize-700-million-series-c-1-financing-round-to-accelerate-the-development-of-advanced-small-modular-nuclear-technology>

Hasta la fecha, tres SMRs han completado con éxito este proceso: SMART (Corea del Sur, KAERI), PWR de 100 MWe, revisado en 2011; KLT-40S (Rusia, Rosatom), PWR de 35 MWe, usado en la central flotante Akademik Lomonosov, revisado en 2009; y ACP100 (China, CNNC), PWR de 125 MWe, revisado en 2016 y actualmente en construcción en Hainan, el primero en conseguir esta certificación.

Estos reconocimientos no implican autorización de construcción u operación —eso corresponde a las autoridades regulatorias de cada país— pero marcan que los diseños cumplen estándares de seguridad aceptados globalmente, lo que los convierte en hitos de referencia en el desarrollo de SMRs.

### **El contraste argentino**

Los números revelan una brecha dramática. Mientras los competidores globales movilizan miles de millones de dólares y avanzan en procesos regulatorios internacionalmente reconocidos, Argentina ha gastado USD 600 millones en un reactor (CAREM-25) que no se completará, y enfrenta la necesidad de invertir USD 500-1,000 millones adicionales solo para desarrollar el ACR-300 hasta la fase de certificación, y luego sumar los montos correspondientes a la construcción del primer reactor

# CAREM-25 COMO CASO DE ESTUDIO: ANATOMÍA DE UN MODELO DE GESTIÓN QUE NO FUNCIONÓ

## 2.1 La mentira técnica

En 1968, el físico italiano Mario Silvestri escribió sobre "la mentira técnica" en su análisis del programa nuclear italiano: "La mentira técnica no consiste en inventar hechos inexistentes, sino en disfrazar de necesidad objetiva lo que es, en cambio, una elección política". Más de medio siglo después, sus palabras resuenan con fuerza inquietante al analizar la trayectoria del CAREM-25.

Durante más de una década, las autoridades nucleares argentinas justificaron la continuidad del proyecto invocando su valor científico, su importancia para la 'soberanía nuclear' y su potencial exportador. El gobierno actual ha decidido suspender el proyecto, citando problemas técnicos y cambios en prioridades estratégicas que entendemos son correctas.

El CAREM-25 fue formalmente incorporado al Plan Nuclear Argentino mediante la Ley N.º 26.566 de 2009, que declaró de interés nacional "el diseño, ejecución y puesta en marcha del reactor prototipo CAREM bajo la órbita de CNEA". Esta inclusión legislativa, lejos de validar la racionalidad técnica del proyecto, institucionalizó una decisión política que posteriormente se revelaría como problemática desde múltiples dimensiones: técnica, económica y comercial. El año pasado el presidente de la CNEA confirmaba en medios que el proyecto era abandonado.<sup>9</sup>

## 2.2 Los números que no cierran

Argentina ha invertido aproximadamente USD 600 millones en el CAREM-25, un reactor que después de más de una década de desarrollo permanece paraliza-

---

<sup>9</sup> La CNEA descarta el proyecto CAREM y explora otros diseños de reactores modulares pequeños • [econojournal.com.ar](http://econojournal.com.ar)

do con un 80% de avance en obra civil, pero significativamente menos en componentes mecánicos críticos.

Para poner estos números en contexto, BWRX-300 desarrolló su diseño completo y obtuvo certificaciones con USD 400 millones. X-Energy completó diseño y licenciamiento con USD 700 millones. Rolls-Royce SMR certificó su diseño con USD 620 millones. La diferencia crucial no está en los montos sino en los resultados: esos proyectos avanzan hacia construcción con compromisos firmes de capital y cronogramas definidos. El CAREM-25, con inversión similar, permanece paralizado después de más de una década, sin perspectivas claras de completarse.

Esta comparación no es caprichosa. Demuestra que el problema del CAREM no radica en la magnitud de la inversión —que fue comparable a proyectos internacionales exitosos— sino en cómo se gestionó esa inversión y con qué objetivos reales.

## 2.3 La evidencia de problemas estructurales

La investigación de Victoria Mendizábal publicada en La Nación el 8 de julio de 2025<sup>10</sup> revela, a través de fuentes cercanas al desarrollo, admisiones inquietantes: "todo lo referido a la mecánica estaba muy atrasado"; "deberán romperse estructuras ya construidas para poder instalarlos correctamente". Más grave aún, expertos del sector advierten que "hay componentes que no se demostraron que funcionan" y que existe el riesgo de que "aun si se concluye en 2028, el reactor podría no encenderse debido a sus falencias técnicas".

La obra civil puede estar al 85%, pero el reactor como sistema integrado está muy lejos de ser una realidad operativa. Este desfase entre el avance de construcción edilicia y el desarrollo de componentes críticos no es un detalle técnico menor: es evidencia de problemas fundamentales en la planificación y gestión del proyecto.

---

<sup>10</sup> Ciencia y política. El plan del Gobierno para proveer energía a la IA y fundar una ciudad nuclear en la Patagonia

## 2.4 El modelo estatal bajo escrutinio

La debacle del CAREM-25 expone las contradicciones fundamentales del modelo de desarrollo nuclear que Argentina ha mantenido durante décadas. Un modelo que permitió justificar decisiones económicamente irracionales en nombre de la "soberanía" y que, muy probablemente, facilitó la perpetuación de ineficiencias sistémicas.

Como señalaba Mario Silvestri: cuando se invoca la autoridad de la ciencia para afirmar que una elección es "obligada", ya se está en el terreno de la mistificación. El CAREM-25 nunca fue una necesidad técnica objetiva: fue una decisión política que se sostuvo artificialmente durante años, resistiendo todos los indicios de su inviabilidad comercial.

La evidencia de esta inviabilidad no surge de críticos externos, sino de la propia experiencia del proyecto. Fuentes cercanas al desarrollo reconocen las falencias técnicas; expertos advierten sobre riesgos de que, completado, podría no funcionar. Este escenario, que llevaría las pérdidas más allá de los USD 800 millones, tendría consecuencias devastadoras para la reputación de Argentina en el sector nuclear internacional.

La pregunta crítica no es si Argentina tiene capacidad técnica para diseñar reactores —claramente la tiene, como demuestran décadas de desarrollo en reactores de investigación y el propio diseño conceptual del ACR-300. La pregunta es: ¿por qué un proyecto con capacidades técnicas disponibles, financiamiento comprometido por el Estado, y más de una década de ejecución no pudo completarse?

Las respuestas posibles apuntan a problemas de modelo de gestión que trascienden el CAREM específicamente y revelan patologías del desarrollo nuclear estatal argentino.

Ausencia de disciplina de mercado. Sin clientes reales esperando el reactor, sin penalidades contractuales por retrasos, sin riesgo de pérdida de capital para quienes toman decisiones, el proyecto sobrevivió independientemente de resultados. Las decisiones técnicas no fueron sometidas

a evaluación costo-beneficio rigurosa. El criterio de "soberanía tecnológica" funcionó como justificación suficiente para mantener flujos de recursos, incluso cuando la evidencia técnica sugería problemas fundamentales.

Falta de transparencia y rendición de cuentas. ¿Quién fue responsable de decidir que se podía construir obra civil sin tener componentes mecánicos listos? ¿Hubo informes técnicos internos advirtiendo estos problemas que fueron ignorados? ¿Por qué la CNEA no informó públicamente sobre el desacople entre avance de construcción y disponibilidad de componentes críticos? Estas preguntas no tienen respuestas públicas, lo que ilustra un problema más profundo: la ausencia de mecanismos efectivos de rendición de cuentas en proyectos nucleares estatales.

Modelo de financiamiento fragmentado. La dependencia de asignaciones presupuestarias anuales generó discontinuidades que se acumularon en retrasos significativos. Cada cambio de gestión, cada ajuste fiscal, cada reasignación de prioridades afectó el flujo de recursos, haciendo imposible la planificación de largo plazo que proyectos nucleares requieren. Pero este problema de financiamiento no es inevitable: es consecuencia de no haber estructurado el proyecto con compromisos firmes desde el inicio.

## **2.5 La comparación con competidores internacionales**

Mientras el CAREM-25 consumía USD 600 millones sin reactor operativo, TerraPower construyó alianzas con el Departamento de Energía de EEUU en esquema 50/50 que exige hitos verificables para desembolso de fondos. Ontario Power Generation comprometió USD 6.100 millones para BWRX-300 con cronograma contractual exigible y penalidades por incumplimiento. Rolls-Royce SMR compite en proceso público británico donde debe demostrar viabilidad técnica y comercial para acceder a financiamiento.

En todos esos casos hay clientes esperando resultados, hay inversores auditando eficiencia, hay competidores presionando por excelencia, hay mar-

coscontractuales que vinculan desembolsos a cumplimiento de hitos. El fracaso tiene consecuencias reales para quienes toman decisiones.

En el modelo CAREM, ninguna de estas presiones existió. El proyecto sobrevivió año tras año por inercia institucional, justificado mediante la invocación ritual de "soberanía tecnológica" sin que nadie rindiera cuentas sobre por qué USD 600 millones no produjeron un reactor operativo.

## 2.6 La respuesta a los defensores del CAREM

En la investigación sobre el plan nuclear publicada por La Nación el 8 de julio, Adriana Serquis, exfuncionaria nuclear que dirigió la CNEA durante el gobierno de Alberto Fernández, defiende la finalización del proyecto argumentando que "es indispensable que se termine ya que sienta las bases del conocimiento que se necesita para el desarrollo de los siguientes reactores bajo un paraguas comercial. No terminás el aprendizaje si no lo ponés en marcha".

El argumento de Serquis presenta tres problemas fundamentales. Primero, confunde los objetivos de un reactor de investigación con los de uno comercial: Argentina ya tiene seis reactores de investigación operativos más el RA-10 en construcción que cumplen perfectamente funciones educativas. Invocar "formación" para justificar completar un reactor de potencia de USD 600 millones es precisamente la mistificación que Silvestri denunciaba.

Segundo, la premisa de que "sin completar CAREM se pierde el conocimiento" es técnicamente falsa. El conocimiento nuclear está documentado y encarnado en el capital humano que participó del proyecto. Los ingenieros no "olvidan" lo aprendido; ese conocimiento permanece disponible para aplicarse en ACR-300 o futuros proyectos.

Tercero, y más importante: completar CAREM validaría un modelo fracasado. Fuentes del propio proyecto admiten que "todo lo referido a la mecánica estaba muy atrasado" y que "deberán romperse estructuras ya construidas". Críticos externos señalan que "hay componentes que no se demostraron que funcionan" y advierten riesgo de que "el reactor podría no encenderse". Además, un reactor de 25 MW es demasiado pequeño para aplica-

ciones comerciales reales; las autoridades regulatorias internacionales exigirán ver reactores de dimensiones apropiadas para sus mercados eléctricos.

Finalizar CAREM en estas condiciones sería enviar una señal devastadora: que Argentina premia el fracaso, mantiene proyectos independientemente de su viabilidad, y que las decisiones políticas disfrazadas de técnicas son irreversibles una vez iniciadas.

## 2.7 Lecciones del CAREM aplicables al ACR-300

**Si el CAREM-25 representa lo que no debe repetirse, ¿qué lecciones específicas pueden extraerse para aplicar al ACR-300?**

**Lección 1:** La cadena de proveedores no puede asumirse, debe construirse. El desfase entre obra civil (85%) y componentes mecánicos en CAREM evidenció subestimación dramática de la complejidad industrial. Para el ACR-300, esto significa que antes de comprometer cronogramas públicos, debe realizarse un mapeo exhaustivo de capacidades industriales existentes. ¿Qué empresas argentinas pueden producir válvulas de alta precisión con certificación nuclear? ¿Existen capacidades locales para soldaduras especializadas que requieren estos reactores? ¿Qué componentes críticos necesariamente deben importarse y de qué proveedores internacionales?

Esta no es una tarea que pueda hacerse "sobre la marcha". Requiere inversión anticipada en identificar brechas, desarrollar proveedores, y donde sea necesario, establecer joint-ventures con empresas internacionales que transfieran conocimiento. La experiencia CAREM demuestra que asumir que "tenemos las capacidades" sin validación específica es un error costoso.

**Lección 2:** El financiamiento fragmentado mata proyectos nucleares. La discontinuidad presupuestaria que sufrió CAREM generó retrasos acumulativos que eventualmente hicieron inviable el proyecto. Para el ACR-300, la estructura de financiamiento privado debería eliminar este problema, pero solo si los compromisos son firmes desde el inicio y están estructurados contractualmente de manera que los inversores no puedan retirarse sin consecuencias significativas.

Esto requiere instrumentos legales robustos, posiblemente garantías estatales o provinciales que reduzcan el riesgo percibido por inversores sin que el Estado deba desembolsar capital directamente.

**Lección 3:** Los objetivos comerciales deben ser reales desde el inicio. CAREM fue concebido como prototipo estatal sin cliente claro, sin modelo de negocio definido, sin estrategia de exportación específica. El ACR-300, por contraste, fue diseñado con objetivos de exportación desde el principio, tiene patente estadounidense, y cuenta con un vehículo de inversión (Meitner Energy, radicada en USA y creada por INVAP) creado específicamente para navegar mercados internacionales.

Este posicionamiento es correcto, pero debe profundizarse. ¿Quiénes son los clientes objetivo específicos? ¿Empresas mineras en Perú que necesitan energía para operaciones remotas? ¿Gobiernos latinoamericanos buscando diversificar matrices energéticas? ¿Operadores de data centers que requieren energía confiable 24/7? Cada segmento requiere adaptaciones específicas del diseño, del modelo comercial, de la estrategia de financiamiento.

**Lección 4:** La escala importa para viabilidad comercial. CAREM-25, con solo 25 MW, era demasiado pequeño para la mayoría de aplicaciones comerciales reales. El ACR-300, con 300 MW, está en el rango apropiado para redes eléctricas latinoamericanas y aplicaciones industriales significativas. Esta decisión de escala es correcta y no debe comprometerse por limitaciones financieras del momento.

No repetir el error de "ajustar el proyecto a lo que el Estado puede pagar" es crucial. El ACR-300 está diseñado para el mercado, no para las restricciones fiscales argentinas. Si esto requiere capital internacional, instrumentos financieros innovadores, o alianzas estratégicas, esas son las soluciones a buscar, no reducir la escala del proyecto.

# EL NUEVO PLAN NUCLEAR ARGENTINO Y LAS CONDICIONES PARA SU ÉXITO

## 3.1 Los contornos del plan

En diciembre de 2024, el presidente Javier Milei anunció el relanzamiento del Plan Nuclear Argentino con la ambición declarada de posicionar al país en la vanguardia energética mundial.

El plan se encuentra en fase de diseño activo. Este informe analiza los lineamientos públicos disponibles e identifica las condiciones institucionales, regulatorias y financieras que pueden facilitar su implementación exitosa.

### Cambios institucionales y liderazgo

Como parte de los cambios anunciados, el gobierno nombró a Damián Reidel como presidente del Consejo Nuclear Argentino, aunque aún no hubo dictado del acto administrativo de creación de dicho consejo. Reidel, físico formado en el prestigioso Instituto Balseiro, con especialización en matemáticas financieras en Chicago y doctorado en Economía en Harvard, representa una designación acertada: alguien con formación técnica sólida y convencimiento genuino sobre las capacidades nucleares argentinas.

La intención declarada del Consejo Nuclear Argentino de coordinar CNEA, ARN, INVAP y N.A.S.A. representa un avance significativo hacia una articulación más efectiva del sector. La formalización progresiva de estos mecanismos de coordinación fortalecerá la capacidad de ejecución del plan.

En abril de 2025 Reidel fue designado presidente de NASA S.A., cargo desde donde impulsó un cambio de dirección en la empresa tendiente a su privatización parcial, es decir abrirla a la participación de capitales privados y además asumir funciones de coordinación del ecosistema nuclear argentino. La privatización mediante

venta de acciones fue autorizada mediante el decreto 695/2025 del 29/09/2025.<sup>11</sup>

Su perfil es, en muchos aspectos, ideal para el rol de "embajador" del sector nuclear. Tener un funcionario con estas características comunicando el potencial nuclear argentino es más que positivo: es necesario. El siguiente paso es que esa convicción se traduzca en coordinación efectiva entre los distintos actores del ecosistema nuclear y, crucialmente, en la sustentación política necesaria para impulsar los cambios regulatorios que el propio plan va a necesitar para su estabilidad en el mediano y largo plazo.

### **Realineamiento geopolítico**

El anuncio de la cancelación de los planes de instalar un reactor de origen chino Hualong One que iba a ser construido en Atucha, cuyo costo estaba estimado en USD 8.300 millones, es parte de un realineamiento político del gobierno con Estados Unidos, y también una apuesta al desarrollo de INVAP del ACR-300 que será, según el plan del gobierno, construido en el sitio que estaba destinado al reactor chino.

Como parte de este realineamiento político con Estados Unidos, nuestro país se ha convertido en el primer país latinoamericano en adherirse como socio contribuyente en el Programa de Infraestructura Fundamental para el Uso Responsable de la Tecnología de Reactores Modulares Pequeños (FIRST) de EE. UU.

<sup>12</sup>Según se indica en la página de la embajada de Estados Unidos en Argentina: "La Argentina se une a un distinguido grupo de socios contribuyentes, incluidos Japón, la República de Corea y Canadá, que aportan financiamiento, experiencia técnica y apoyo en especie a las iniciativas de FIRST. Como socio contribuyente, Argentina desempeñará un papel vital en el apoyo a las actividades de FIRST en todo el mundo, como proyectos regionales, giras de estudio sobre SMR, programas de capacitación y otras iniciativas para facilitar el despliegue responsable por parte de los países que consideran esta tecnología. Argenti-

---

<sup>11</sup> <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/332079/20250930>

<sup>12</sup> [Argentina Becomes a Contributing Partner in the U.S. FIRST Program](#)

na y Estados Unidos co presidirán la próxima conferencia regional de FIRST para países de América Latina y el Caribe sobre despliegue de SMR en Buenos Aires en 2026." Tener mayor presencia en distintos ámbitos donde se discute y comparte innovación nuclear es un hecho positivo que puede facilitar el acceso a conocimiento, mejores prácticas y redes de colaboración internacional.

## **Objetivo central y fases del plan**

El objetivo central, según se desprende de las declaraciones oficiales, es ambicioso y claro: transformar a Argentina de un país que usa tecnología nuclear para consumo interno en un exportador global de reactores modulares pequeños, financiado con capital privado.

Esta transformación implicaría desarrollar capacidades industriales relativamente nuevas para Argentina. La lógica se basa en aprovechar la "economía de múltiplos": producir reactores en serie para reducir costos y competir en mercados internacionales. Es una apuesta audaz que, de funcionar, podría posicionar a Argentina junto a países como Canadá, Estados Unidos y Reino Unido en la exportación de tecnología nuclear avanzada de potencia.

La infraestructura prevista se estructura en tres fases temporales, aunque vale señalar que los cronogramas específicos no han sido formalizados públicamente:

Fase 1 (2024-2026): Según las declaraciones oficiales, construcción de cuatro reactores modulares ACR-300 (diseño de INVAP) en el sitio de Atucha, donde originalmente se proyectaba Atucha 3, con financiamiento cien por ciento privado estimado entre USD 500-1.000 millones para desarrollo y certificación del diseño. El plan determina también la cancelación definitiva del proyecto CAREM-25.

Fase 2 (2026-2030): Implementación del "modelo Gillette" - vender reactores con contratos obligatorios de compra de uranio argentino, aprovechando una posición competitiva en el mercado de SMR antes de que surjan otros competidores internacionales que consoliden su posición.

Fase 3 (post-2030): La visionaria "Nuclear City", una especie de ciudad del futuro sin combustibles fósiles diseñada para atraer empresas de inteligencia artificial y centros de datos.

Consideramos que tanto la propuesta de minería de uranio como componente central del modelo de negocio como la "Nuclear City" añaden capas de complejidad que desvían la atención del verdadero desafío inmediato. Es notable que algunos de los líderes en desarrollo de SMR no son necesariamente productores de uranio, lo que sugiere que la integración vertical completa no es condición sine qua non para el éxito comercial.

Para llegar a desarrollar el ACR-300 exitosamente, en línea con los desarrollos que se están dando en el mundo, el foco real debe estar en cómo atraer capital privado mediante instrumentos que compensen la ausencia de financiamiento público directo, combinado con fortalecimiento regulatorio de la ARN para procesos de certificación competitivos internacionalmente, y fortalecimiento científico de la CNEA como soporte técnico del desarrollo.

## **3.2 ACR-300: características y desafíos**

El contraste entre CAREM-25 y ACR-300 es notable no sólo en términos técnicos, sino también en el modelo de desarrollo que cada uno representa. Mientras el CAREM encarna la lógica estatal tradicional descrita en la sección anterior, el ACR-300 surgió desde una aproximación conceptualmente diferente.

Es importante reconocer que el ACR-300 representa un enfoque distinto al CAREM-25 desde múltiples dimensiones. Fue diseñado desde el inicio con objetivos de comercialización internacional, no como prototipo estatal. Cuenta con una patente estadounidense otorgada en agosto de 2024, lo que proporciona protección de propiedad intelectual en el mercado más importante del mundo. Surge de INVAP, empresa con historial probado de exportación tecnológica, habiendo vendido reactores de investigación a Argelia, Egipto, Bolivia y Australia.

## Características técnicas superiores

Las especificaciones del ACR-300 son superiores al CAREM en múltiples dimensiones relevantes para viabilidad comercial. La potencia de 300 MW versus 25 MW del CAREM lo coloca en el rango apropiado para aplicaciones comerciales reales. El diseño modular genuino está optimizado para manufactura en serie, no solo para construcción modular en sitio. La tecnología de refrigeración por agua liviana es más estándar internacionalmente, lo que facilita certificación en múltiples jurisdicciones y reduce barreras regulatorias.

La patente otorgada por la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO) en agosto de 2024 no es un detalle menor. Proporciona protección legal en el mercado estadounidense y señala a inversores internacionales que el diseño ha pasado escrutinio técnico riguroso. INVAP creó Meitner Energy en Estados Unidos específicamente para atraer inversión privada y navegar los marcos regulatorios internacionales, lo que demuestra pensamiento estratégico sobre cómo posicionar la tecnología globalmente.

## Desafíos formidables

Sin embargo, el ACR-300 también enfrenta desafíos que no deben subestimarse. Se estima que su desarrollo completo requerirá entre USD 500 y 1.000 millones solo para llegar a la fase de certificación completa y construcción del primer reactor demostrador. Estos montos son estimaciones declaradas por Demian Reidel en diversas entrevistas.<sup>3</sup>

Competirá con proyectos que ya han recaudado miles de millones de dólares y tienen años de ventaja en procesos regulatorios. Aún no ha iniciado procesos de licenciamiento formal ante ninguna autoridad regulatoria, ni argentina ni internacional. La cadena de proveedores necesaria para manufactura en serie no existe actualmente y requiere inversión específica para desarrollarse.

La pregunta central es si Argentina puede movilizar los recursos financieros, industriales y regulatorios necesarios para llevar el ACR-300 desde su actual etapa de diseño conceptual patentado hasta un reactor certificado, construido y operativo que valide la tecnología comercialmente. La respuesta depend-

erá no solo de las capacidades técnicas del país —que existen— sino de su disposición a implementar instrumentos innovadores de financiamiento, modernizar marcos regulatorios, y construir las cadenas de valor industriales necesarias.

### **3.3 El desafío del financiamiento: instrumentos sin desembolso fiscal directo**

El plan propone financiamiento cien por ciento privado. Esto plantea la necesidad de identificar instrumentos que generen para inversores condiciones competitivas comparables a las de proyectos internacionales que reciben financiamiento público parcial o total.

BWRX-300 recibió USD 6.100 millones de Ontario Power Generation, empresa pública. TerraPower opera en esquema 50/50 con el Departamento de Energía de Estados Unidos. Rolls-Royce SMR recibió subsidios del gobierno británico por USD 3.300 millones.

La respuesta no está en replicar subsidios directos que Argentina no puede costear fiscalmente en el contexto actual. Está en desarrollar instrumentos que generen efectos equivalentes para inversores privados sin comprometer recursos fiscales inmediatos o, al menos, estructurando el riesgo fiscal de manera que sea contingente al éxito comercial del proyecto.

Identificamos cuatro mecanismos complementarios que Argentina podría implementar. Estos mecanismos no son mutuamente excluyentes; de hecho, la estrategia óptima probablemente combine varios de ellos para crear un paquete atractivo para inversores internacionales.

#### **RIGI como incentivo fiscal**

El Régimen de Incentivo para Grandes Inversiones, tal como está diseñado actualmente, puede aplicarse a proyectos de energía y proporciona ventajas significativas que reducen el riesgo percibido por inversores sin requerir desembolso fiscal inmediato del Estado.

La estabilidad fiscal a 30 años que ofrece el RIGI coincidiría perfectamente con la vida útil de los reactores nucleares, proporcionando certidumbre comparable a la que inversores encuentran en países donde el Estado financia directamente. Para proyectos nucleares cuya recuperación de inversión se extiende por décadas, esta estabilidad es invaluable.

La exención o reducción significativa de derechos de exportación sobre tecnología nuclear reconocería que el verdadero valor estratégico del proyecto no está en la energía generada localmente sino en la capacidad de exportar reactores. Si Argentina aspira a ser exportador de SMR, no puede penalizar fiscalmente esas exportaciones.

La devolución acelerada de IVA para la cadena de proveedores es crítica para desarrollar capacidades industriales locales. Las empresas que quieran reconvertirse para producir componentes nucleares enfrentan inversiones significativas. Si el IVA de esas inversiones se devuelve rápidamente en lugar de retenerse por años, reduce dramáticamente el costo de capital de la reconversión industrial.

El tratamiento especial en Impuesto a las Ganancias durante la fase de desarrollo reconocería que proyectos nucleares tienen períodos prolongados de inversión antes de generar ingresos. Permitir amortización acelerada o diferimientos fiscales alineados con el flujo de caja real del proyecto mejora significativamente su TIR (tasa interna de retorno) desde la perspectiva de inversores.

La ventaja crucial del RIGI es que el costo fiscal se materializa gradualmente y está condicionado al éxito comercial del proyecto. Si el ACR-300 fracasa y no se exporta, el Estado no ha gastado dinero en subsidios directos. Si tiene éxito, la renuncia fiscal se compensa con generación de empleo, desarrollo industrial, y posicionamiento estratégico en tecnología de punta.

## **Contratos de compra de energía de largo plazo**

Los Power Purchase Agreements han demostrado ser el mecanismo más efectivo para reducir riesgo en proyectos nucleares sin requerir desembolso estatal inicial. Microsoft reactivó Three Mile Island mediante PPA de 20 años

con ConstellationEnergy para sus data centers. Amazon estructura PPAs directos con desarrolladores nucleares para garantizar baseload 24/7.

### **Instrumentos aplicables a Argentina:**

**Corporate PPAs:** Sectores con demanda estable (minería, hidrógeno verde, data centers, petroquímica) pueden comprometerse contractualmente a comprar energía a precios definidos por 20-30 años, proporcionando flujo de ingresos predecible que facilita el financiamiento del proyecto.

**Virtual PPAs:** Contratos por diferencias donde compradores asumen riesgo de precio sin recibir físicamente la energía. Permite que multinacionales con operaciones en Argentina participen en financiamiento para descarbonizar su huella mediante certificados nucleares.

**Agregadores de demanda:** Intermediarios que consolidan necesidades de múltiples empresas medianas (15-20 firmas de 10-20 MW cada una) en contrato único de 300 MW que justifique un ACR-300.

Argentina cuenta con infraestructura legal consolidada para PPAs privados, desarrollada extensivamente para renovables mediante la Ley 27.191 y la Resolución 281/2017. Adaptaciones menores facilitarían su aplicación a proyectos nucleares: reconocimiento expreso de plazos extendidos (30-40 años versus 10-20 años típicos de renovables) necesarios para amortizar inversión nuclear, y tratamiento específico de garantías proporcionales a la escala de proyectos SMR (USD 1.000-2.000 millones versus USD 100-300 millones de proyectos renovables típicos).

El Estado podría actuar como backstop buyer para 20-30% de capacidad, proporcionando piso de demanda sin ser cliente principal. El proyecto se financia principalmente mediante compromisos privados verificables.

### **Financiamiento multilateral regional**

Los organismos multilaterales de desarrollo como BID, CAF, Banco Mundial raramente financian proyectos nucleares de un solo país. El riesgo político concentrado, la escala insuficiente para justifi-

car desarrollo de expertise institucional, y la dificultad de replicar aprendizajes en otros contextos hacen que estos organismos sean reticentes.

Un consorcio regional para desarrollo conjunto de capacidades nucleares cambiaría fundamentalmente la ecuación. Un programa de 10-15 reactores en cinco países representa una escala que justifica que BID o CAF desarrollen capacidades específicas en financiamiento nuclear.

La diversificación de riesgo país es fundamental para multilaterales. Un programa regional donde el fracaso de un país no compromete todo el portafolio es mucho más atractivo que apostar todo a Argentina. La coordinación entre países genera presión positiva para cumplir compromisos, ya que cada país tiene incentivo reputacional para no ser el que retrasa el programa regional.

El precedente existe: el programa nuclear brasileño-argentino de los años 1980 demostró que la cooperación regional en temas nucleares sensibles es posible y genera beneficios mutuos, incluso en contextos donde existían tensiones geopolíticas previas.

La ventaja es acceso a tasas de interés significativamente más bajas que financiamiento puramente privado. Los multilaterales pueden ofrecer términos que reflejan su costo de fondeo privilegiado, no el riesgo de mercado que inversores privados perciben en Argentina.

### **Financiamiento mixto gradual**

Un modelo donde capital privado financia fases iniciales (diseño detallado, certificación) y capital público contingente entra para construcción del primer reactor demostrador ha sido utilizado exitosamente en otros contextos de tecnología de alto riesgo.

La secuencia sería: **Fase 1**, cien por ciento privado, USD 500-700 millones para completar diseño detallado y obtener certificaciones de ARN más al menos una referencia internacional (OIEA, CNSC o NRC). Esta fase valida técnicamente el diseño sin comprometer recursos públicos.

**Fase 2**, mixto: una vez validado el diseño mediante certificaciones rigurosas, el Estado entra como socio minoritario (20-30%) para construcción del primer reactor, reduciendo riesgo percibido por inversores privados en la fase de manufactura y construcción física, que es donde los riesgos de sobrecostos y retrasos son más significativos.

**Fase 3**, cien por ciento privado nuevamente: reactores subsiguientes se financian enteramente con capital privado, beneficiándose de la curva de aprendizaje del primer reactor. Los costos por unidad deberían decrecer significativamente en reactores 2, 3, 4, haciendo que la participación privada total sea viable sin necesidad de respaldo estatal.

La ventaja es que el Estado participa solo tras validación técnica rigurosa, minimizando riesgo fiscal. No está apostando a un diseño en papel sino a tecnología certificada por autoridades regulatorias reconocidas internacionalmente. Además, genera "señal" positiva para mercados de que el gobierno argentino tiene convicción suficiente en el proyecto para poner capital estatal, lo que puede catalizar entrada de inversores privados adicionales que estaban en la cerca.

El requerimiento crítico es definir triggers claros y públicos para participación estatal. No puede ser discrecional. Debe estar establecido contractualmente desde el inicio: "El Estado entra cuando ACR-300 obtenga certificación de al menos dos autoridades regulatorias internacionales reconocidas" o algún hito similar verificable objetivamente. Esto previene la politización de la decisión y da certidumbre a todos los actores.

### **La combinación óptima**

Estos mecanismos no son excluyentes. De hecho, la estrategia más robusta probablemente combine: RIGI como base para todos los proyectos nucleares, proporcionando el marco de estabilidad fiscal fundamental; más garantías de compra para los primeros 2-3 reactores, reduciendo riesgo de demanda; más exploración de financiamiento multilateral regional si se logra articular un consorcio latinoamericano; y potencialmente financiamiento mixto gradual si los primeros tres

mecanismos resultan insuficientes para cerrar la brecha de financiamiento.

La definición precisa de los instrumentos de financiamiento facilitará significativamente el análisis de inversores internacionales y fortalecerá la capacidad de captación de capital.

### **3.4 Argentina en el mercado latinoamericano: ventajas competitivas reales**

Que Europa y Estados Unidos estén avanzados en sus propios desarrollos de SMR no convierte automáticamente a esos países en exportadores instantáneos a escala global. La adopción de nuevas tecnologías nucleares sigue curvas graduales determinadas por múltiples factores: certificaciones regulatorias país por país, desarrollo de cadenas de proveedores locales, capacitación de operadores, y fundamentalmente, construcción de confianza pública y política.

Argentina puede posicionarse para dominar el mercado latinoamericano aprovechando ventajas competitivas específicas que los desarrolladores del hemisferio norte no poseen.

#### **Proximidad geográfica y cultural**

El transporte de componentes modulares desde Buenos Aires a Santiago, Lima o Montevideo es logísticamente más simple y económicamente más viable que desde Ontario o el Reino Unido. Esta no es una ventaja trivial cuando se trata de componentes de alta precisión que requieren condiciones específicas de transporte y cuyo valor hace que los costos logísticos sean proporcionalmente significativos.

Más importante aún, la operación, mantenimiento y capacitación en español elimina barreras que frecuentemente se subestiman. Los manuales técnicos, los protocolos de emergencia, la formación de operadores, todo puede hacerse en el idioma nativo de los países objetivo. Empresas estadounidenses o británicas enfrentan costos adicionales significativos de traducción, adaptación cultural, y capacitación en idiomas que Argentina no tiene.

Los marcos regulatorios latinoamericanos comparten estructuras legales comunes derivadas del derecho continental, a diferencia del common law anglosajón. Esto facilita la armonización normativa y reconocimiento mutuo de certificaciones de manera que sería más compleja entre sistemas legales fundamentalmente diferentes.

### **Ausencia de competidor regional con diseño**

A diferencia de mercados maduros donde cada país tiene sus propios desarrollos o alianzas establecidas, América Latina no tiene un desarrollador regional de SMR de escala comercial. Esta es una ventana de oportunidad que no permanecerá abierta indefinidamente.

Brasil, frecuentemente señalado como competidor potencial, no tiene diseño propio de SMR comercial. Su esfuerzo nuclear está concentrado en reactores navales para submarinos (LABGENE, tecnología no exportable ni comercialmente aplicable a generación eléctrica) y en completar Angra 3, un proyecto heredado de diseño Siemens/KWU que viene con construcción intermitente desde los años 1980.

La experiencia de Angra 3 es, de hecho, una advertencia más que un modelo. Proyectos nucleares de gran escala han demostrado ser extraordinariamente lentos incluso cuando son ejecutados inicialmente por empresas privadas. Cuando el Estado administra directamente con las discontinuidades fiscales que caracterizan a economías latinoamericanas, los resultados son peores. Proyectos que tardan 40 años en completarse no son exportables.

Argentina tiene ventajas de diseño únicas que Brasil no posee actualmente: diseño propio del ACR-300 con patente estadounidense otorgada, no es adaptación de tecnología extranjera sino innovación genuina; trayectoria de INVAP en exportación de reactores de investigación, demostrando capacidad de cumplir estándares internacionales exigentes (el reactor OPAL entregado a Australia es evidencia de gestión de proyectos complejos con certificación rigurosa); y capital humano especializado consolidado a través de 70 años de formación continua en el Instituto Balseiro y otras instituciones, una

masa crítica de ingenieros y físicos nucleares que Brasil, con su programa más fragmentado institucionalmente, no ha logrado consolidar de la misma manera.

## **Demanda energética regional creciente con infraestructura limitada**

El consumo energético latinoamericano crecerá significativamente en las próximas dos décadas. Sin embargo, la región enfrenta limitaciones estructurales severas en sus redes de transmisión que hacen que simplemente aumentar generación renovable en ubicaciones óptimas no resuelva el problema energético.

Los reactores modulares pequeños son ideales para este contexto porque pueden instalarse cerca de centros de demanda sin requerir las megainversiones en líneas de alta tensión de cientos de kilómetros que necesitan las grandes centrales. Esta característica los hace especialmente valiosos para países con geografías complejas o poblaciones distribuidas.

Uruguay: la paradoja de las renovables. Uruguay representa el caso más emblemático de por qué los SMR son necesarios incluso en países con matrices altamente renovables. Con aproximadamente 98% de su electricidad proveniente de fuentes renovables (principalmente hidroeléctrica y eólica), Uruguay es frecuentemente citado como modelo de transición energética exitosa.

Sin embargo, esta dependencia extrema en renovables crea vulnerabilidades estructurales que se están manifestando cada vez más frecuentemente. Durante períodos de sequía, cada vez más frecuentes debido al cambio climático, la generación hidroeléctrica cae dramáticamente. En noches sin viento, la generación eólica es mínima. Uruguay debe entonces importar electricidad desde Argentina o, en casos extremos, activar generación térmica fósil de respaldo que mantiene ociosa y que es costosa tanto económica como ambientalmente.

El costo de mantener capacidad térmica de respaldo ociosa la mayor parte del tiempo es económicamente ineficiente. Las importaciones exponen al país a volatilidad de precios regionales y dependencia de vecinos cuya propia situación energética puede ser inestable.

Un reactor SMR de 100-300 MW proporcionaría baseload constante y confiable las 24 horas, complementando perfectamente la generación renovable variable en lugar de reemplazarla. Para un país de 3.5 millones de habitantes, uno o dos SMR serían suficientes para eliminar la vulnerabilidad energética sin comprometer el carácter mayormente renovable de su matriz.

Uruguay tiene tradición de pragmatismo energético y ya ha estudiado la opción nuclear desde 2006 sin implementarla por falta de tecnología apropiada. Los SMR eliminan las barreras que antes hacían inviable la nuclear: no requieren la megainversión de reactores grandes, pueden ubicarse cerca de centros de demanda, y su escala es proporcional al tamaño del país.

Chile: el dilema post-carbón. Chile adelantó el cierre de sus últimas centrales de carbón para 2035 como parte de su compromiso de descarbonización, creando un déficit energético estructural que actualmente suple mediante importaciones de gas natural argentino (con riesgo geopolítico asociado) y generación solar en el norte que debe transmitirse miles de kilómetros hacia centros de consumo.

La geografía chilena penaliza las renovables de manera única. Chile tiene 4,300 km de largo. La mejor generación solar está en el norte (desierto de Atacama), pero la demanda está en el centro (Santiago, región metropolitana con 7 millones de habitantes) y sur (Concepción, zona industrial). Las pérdidas de transmisión en líneas de miles de kilómetros son significativas, y la inversión requerida en infraestructura de transmisión es enorme.

SMR ubicados cerca de zonas industriales (Antofagasta para el sector minero del cobre, Concepción para industria manufacturera) eliminarían la necesidad de megaproyectos de transmisión mientras proporcionan energía ultra-confiable para sectores económicos críticos. Para un país con demanda eléctrica de aproximadamente 75 TWh/año, ocho a diez SMR de 300 MW podrían proporcionar 30-40% de la generación, complementando solar y eólica sin reemplazarlas.

El desafío político es que Chile tiene rechazo social a la nuclear post-Fukushima. Sin embargo, los SMR pueden posicionarse como tecnología fundamentalmente diferente (seguridad pasiva que elimina físicamente la posibilidad de fusión del núcleo, imposibilidad de accidentes catastróficos por diseño inherente) y la crisis energética

puede cambiar la opinión pública si se comunica adecuadamente con transparencia.

Ecuador: déficit crónico y dependencia. Ecuador importa electricidad de Colombia y Perú durante picos de demanda, pagando precios spot elevados que impactan su balanza comercial. Su matriz depende fuertemente de hidroeléctrica (75-80%), vulnerable a sequías cada vez más frecuentes. Las opciones son limitadas: expansión térmica fósil contradice compromisos climáticos; potencial renovable es limitado por geografía (país pequeño, montañoso, con menos recursos eólicos o solares que vecinos); e importaciones son costosas y vulnerables a crisis regionales.

Dos o tres reactores de 300 MW proporcionarían aproximadamente 25-30% de la demanda ecuatoriana, eliminando dependencia de importaciones y proporcionando base estable que permitiría mayor integración de renovables intermitentes. La ubicación estratégica cerca de Quito o Guayaquil reduciría necesidad de expansión significativa de transmisión.

Perú: energía para minería en zonas remotas. El sector minero peruano (cobre, oro, litio) es intensivo en energía y frecuentemente opera en zonas remotas sin acceso confiable a la red nacional. Actualmente depende de generación diésel local (extremadamente costosa, aproximadamente USD 0.30-0.40 por kWh, y altamente contaminante) o líneas de transmisión extremadamente largas desde hidroeléctricas andinas que son vulnerables a conflictos sociales, condiciones climáticas extremas, y sabotaje.

SMR dedicados específicamente a operaciones mineras representan un modelo único donde empresas mineras internacionales financian reactores dedicados exclusivamente para sus operaciones. Las ventajas son múltiples: costo de energía predecible por 60 años (vida útil del reactor), lo que facilita modelado financiero de largo plazo para proyectos mineros; independencia completa de red nacional, eliminando vulnerabilidades a inestabilidad del sistema eléctrico peruano; credenciales ESG (environmental, social, gobernanza) significativamente mejoradas por descarbonización completa de operaciones; y financiamiento potencialmente más sencillo porque mineras internacionales como BHP,

Glencore, o Southern Copper tienen acceso directo a capital internacional a tasas favorables.

Este modelo no requiere que el Estado peruano lidere el proyecto o asuma riesgos financieros. Argentina vendería directamente a las empresas mineras. El rol del Estado peruano sería puramente regulatorio, asegurando seguridad nuclear pero sin financiar el proyecto. Esto elimina barreras políticas significativas.

### **Mecanismos de integración regional**

La estrategia argentina de exportación debe ser explícitamente regional desde el inicio, no como "plan B" si los mercados desarrollados rechazan el ACR-300, sino como el camino óptimo hacia competitividad global. Corea del Sur construyó su industria nuclear exportadora comenzando con reactores nacionales (Kori, Hanbit), luego vendiendo regionalmente (proyectos en China, Indonesia), y finalmente compitiendo globalmente con éxito (contrato de USD 20.000 millones para Emiratos Árabes Unidos). Argentina debe seguir lógica similar: doméstico primero, regional segundo, global tercero.

### **Reconocimiento internacional de certificaciones ARN**

La estrategia de exportación regional requiere que la certificación del ACR-300 por la ARN sea reconocida como referencia válida por autoridades de países compradores, reduciendo tiempos y costos de aprobaciones locales.

Las modernizaciones regulatorias propuestas en este informe posicionan a la ARN como regulador moderno cuyos estándares son comparables internacionalmente. La obtención posterior de Generic Reactor Safety Review del OIEA proporcionaría validación independiente de que el diseño cumple estándares internacionales, facilitando su aceptación en países sin capacidades regulatorias nucleares consolidadas como Chile, Uruguay y Perú.

Argentina puede entonces negociar tratados bilaterales donde esos países reconozcan la certificación ARN + OIEA como base suficiente para autorizar construcción, requiriendo solo evaluaciones sitio-específicas locales. Este enfoque replica el modelo probado por INVAP en exportación de reactores de investigación a Argelia, Egipto y Australia: reactor certificado, asistencia para establecimiento

de marco regulatorio básico con apoyo del OIEA, y soporte operativo inicial.

El reconocimiento internacional de certificaciones ARN depende crucialmente de completar primero la modernización regulatoria propuesta en la Sección 4.

Financiamiento multilateral conjunto. Un consorcio regional cambia completamente la ecuación para organismos multilaterales como BID, CAF, Banco Mundial. La escala de un programa de 10-15 reactores en cinco países, representando USD 6.000-12.000 millones en financiamiento potencial, justifica que estos organismos desarrollen capacidades específicas en financiamiento nuclear que no desarrollarían para proyectos nacionales aislados de menor escala.

La diversificación de riesgo es fundamental. El riesgo político de un solo país (cambio de gobierno que cancela programa nuclear, crisis fiscal que interrumpe financiamiento) se diluye en una cartera regional. Los organismos multilaterales pueden estructurar financiamiento donde el default de un país no compromete todo el portafolio, lo que hace el riesgo agregado más manejable.

La coordinación entre países genera presión positiva para cumplir compromisos. Cada país tiene incentivo reputacional para no ser el que retrasa el programa regional. Esta “presión entre pares” entre gobiernos puede ser más efectiva que sanciones formales para mantener disciplina en ejecución.

# MARCOS REGULATORIOS NECESARIOS PARA COMPETIR INTERNACIONALMENTE

## 4.1 Diagnóstico: fortalezas consolidadas vs. brechas críticas

Argentina posee una base regulatoria sólida construida a lo largo de décadas. La Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) ha sido evaluada positivamente en misiones del OIEA que concluyeron que Argentina posee un sistema regulatorio congruente con las mejores prácticas internacionales. El marco legal argentino, fundamentado en la Ley 24.804 de 1997, se mantiene armonizado con las normas del OIEA en sus aspectos fundamentales.

El sistema de formación profesional nuclear ha generado capital humano de excelencia reconocido internacionalmente. La CNEA acumula 70 años de experiencia en investigación y desarrollo nuclear. INVAP ha demostrado capacidades tecnológicas con exportaciones exitosas de reactores de investigación a múltiples países, cumpliendo estándares regulatorios exigentes como los de Australia para el reactor OPAL.

Sin embargo, estas fortalezas conviven con limitaciones que afectan la capacidad de Argentina para competir internacionalmente en el mercado emergente de SMR. Las brechas no invalidan las capacidades existentes, pero sí limitan la velocidad y eficiencia con que Argentina puede capitalizar sus activos técnicos.

Ausencia de procesos de pre-licenciamiento. Mientras 51 diseños de SMR avanzan en procesos de licenciamiento en 15 países que han desarrollado marcos específicos para estas tecnologías, ni el CAREM-25 ni el ACR-300 figuran en esta lista. Esta exclusión no refleja limitaciones técnicas intrínsecas de los diseños argentinos sino deficiencias procedimentales en el marco regulatorio.

La ARN no ofrece actualmente un proceso público de pre-licenciamiento del diseño similar al Vendor Design Review canadiense o al Generic Design Assessment británico. La validación regulatoria ocurre dentro del expediente de licencia de construcción, cuando ya hay proyecto definido, sitio seleccionado, y compromisos financieros significativos realizados. Esto aumenta dramáticamente el riesgo percibido por inversores que no pueden obtener validación regulatoria preliminar antes de comprometer capital.

Ausencia de marco para reactores avanzados. Los marcos tradicionales de la ARN fueron diseñados en décadas anteriores para reactores grandes de agua liviana o pesada, con características de seguridad basadas en sistemas activos redundantes. Los SMR modernos introducen características de seguridad pasiva (sistemas que funcionan por gravedad, convección natural, o presión inherente sin requerir energía externa o intervención humana) que no encajan bien en enfoques regulatorios hiper-prescriptivos heredados de generaciones anteriores de reactores.

Un reactor con seguridad pasiva que elimina físicamente la posibilidad de fusión del núcleo no requiere todos los sistemas de respaldo activos que regulaciones tradicionales exigen para reactores grandes. Pero si el marco regulatorio es puramente prescriptivo ("debes tener X bombas de respaldo, Y generadores diésel, Z sistemas de enfriamiento activo"), no hay mecanismo claro para que diseños innovadores demuestren que logran niveles equivalentes o superiores de seguridad mediante enfoques diferentes.

Limitaciones en desarrollo de cadena de proveedores. Los problemas experimentados en el CAREM-25 evidenciaron que tener capacidades de diseño no equivale automáticamente a poseer un ecosistema industrial maduro capaz de manufacturar componentes con estándares nucleares. La brecha no es regulatoria solamente, sino también de capacidades industriales certificadas según códigos internacionales como ASME o RCC-M.

Argentina tiene empresas metalúrgicas, de componentes electrónicos, y servicios de ingeniería con capacidades técnicas altas, pero muchas no están certificadas para trabajar bajo estándares nucleares que son órdenes de magnitud más exigentes que estándares industriales convencionales. Desarrollar esta-

certificación requiere inversión, tiempo, y coordinación entre la ARN (que debe certificar), las empresas (que deben invertir en mejorar procesos), y los desarrolladores de reactores (que deben especificar requerimientos claramente).

## **4.2 Benchmarking internacional: qué han hecho los líderes**

Los países que lideran el desarrollo de SMR no llegaron a sus posiciones actuales por accidente. Invirtieron significativamente, durante años, en modernizar sus marcos regulatorios específicamente para estas nuevas tecnologías. Argentina tiene la oportunidad de aprender de esas experiencias y dar un salto cualitativo sin repetir el proceso completo de prueba y error que esos países atravesaron.

### **Canadá: transparencia y pre-licenciamiento**

La Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) ha desarrollado el Licensing Vendor Design Review (VDR), un proceso voluntario donde desarrolladores pueden solicitar revisión regulatoria de su diseño en etapas tempranas, mucho antes de tener un proyecto específico o sitio definido.

El proceso opera en fases escalonadas. La Fase 1, revisión de concepto, dura aproximadamente seis meses y evalúa viabilidad técnica preliminar, identificando tempranamente desafíos regulatorios significativos. No hay compromiso vinculante para ninguna parte; el desarrollador puede retirar el diseño sin penalidades si la retroalimentación inicial revela problemas fundamentales.

La Fase 2, revisión de diseño básico, se extiende por 12-18 meses y profundiza en análisis de seguridad preliminar, validación de enfoques de seguridad pasiva propuestos, y retroalimentación específica sobre áreas que requieren desarrollo adicional antes de poder proceder a licenciamiento formal.

La Fase 3, revisión de diseño detallado, toma 18-24 meses y constituye evaluación completa de documentación de seguridad, análisis probabilístico de riesgo exhaustivo, e identificación precisa de todos los requisitos que deberán cumplirse para obtener licencia de construcción eventualmente.

La transparencia es fundamental en el modelo canadiense. La CNSC publica reportes de avance por cada tecnología en revisión, obviamente protegiendo información propietaria sensible pero haciendo público el estado general del proceso, áreas de preocupación identificadas, y progreso en resolverlas. Esto genera confianza en inversores internacionales que pueden ver objetivamente cómo avanza el proceso regulatorio.

La ventaja para desarrolladores e inversores es enorme. Pueden obtener validación regulatoria preliminar antes de comprometer cientos de millones en construcción. Si el diseño tiene problemas fundamentales que harían imposible la certificación, se descubren temprano cuando los costos hundidos son todavía limitados. Si el diseño es sólido, la retroalimentación regulatoria permite refinarlo antes del licenciamiento formal, acelerando dramáticamente el proceso posterior.

### **Reino Unido: consulta pública y separación de procesos**

La Office for Nuclear Regulation (ONR) británica implementa el Generic Design Assessment (GDA), una revisión integral del diseño abierta a consulta pública en múltiples etapas. El proceso típico dura cuatro años, con versiones potencialmente aceleradas para SMR que demuestren características de seguridad inherente particularmente robustas.

El GDA incluye consultas públicas obligatorias en fases clave del proceso. Cuando la ONR identifica áreas de preocupación técnica o cuando el diseño propone enfoques innovadores que se desvían de prácticas establecidas, abre períodos de consulta donde expertos independientes, universidades, ONGs ambientales, y ciudadanía pueden presentar comentarios y preocupaciones. La ONR debe responder públicamente a todos los comentarios sustantivos, explicando cómo fueron considerados en la evaluación.

Esta transparencia extrema puede parecer que ralentiza el proceso, pero genera legitimidad social que resulta invaluable posteriormente. Cuando un diseño completa el GDA exitosamente, tiene respaldo no solo técnico sino también social, habiendo sobrevivido escrutinio público riguroso. Esto reduce dramáticamente el riesgo de oposición ciudadana durante la construcción.

La separación clara entre certificación del diseño genérico y licenciamiento del sitio específico es otra innovación británica importante. Una vez que un diseño completa el GDA exitosamente, cualquier desarrollador puede usarlo en cualquier sitio apropiado en el Reino Unido con un proceso de licenciamiento sitio-específico mucho más acotado que se enfoca exclusivamente en características del sitio (geología, sismicidad, proximidad a poblaciones, acceso a agua de enfriamiento) sin tener que re-demostrar la seguridad del diseño básico.

Esto es particularmente relevante si Argentina aspira a exportar el ACR-300. Un diseño certificado genéricamente en Argentina mediante un proceso equivalente al GDA británico podría presentarse en otros países con mayor credibilidad, argumentando que ya pasó escrutinio regulatorio riguroso en su país de origen y que solo requiere adaptaciones sitio-específicas en el país comprador.

### **Estados Unidos: marcos tecnológicamente neutros**

La Nuclear Regulatory Commission (NRC) estadounidense está desarrollando Part 53, un nuevo marco de licenciamiento para reactores avanzados que representa un cambio filosófico fundamental en cómo se regula la seguridad nuclear.

El enfoque tradicional de la NRC ha sido prescriptivo (especialmente desde el incidente de la planta nuclear Three Mile Island en 1972): especifica sistemas de seguridad concretos que los reactores deben tener (número de bombas de respaldo, capacidad de generadores diésel de emergencia, configuración de sistemas de enfriamiento). Este enfoque funcionó bien para generaciones anteriores de reactores que compartían arquitecturas similares, pero se convierte en barrera para innovación cuando diseños nuevos logran niveles equivalentes o superiores de seguridad mediante enfoques radicalmente diferentes.

Part 53 adopta un enfoque basado en desempeño y riesgo en lugar de prescripción. En lugar de especificar "debe tener X bombas de respaldo", establece objetivos de seguridad cuantificables: "la probabilidad de daño severo al núcleo debe ser menor a  $10^{-6}$  por año-reactor". Cómo el diseño logra ese objetivo es decisión del desarrollador, que debe demostrarlo mediante análisis probabilístico de riesgo riguroso.

La neutralidad tecnológica significa que el marco acepta múltiples soluciones de diseño que cumplan objetivos de seguridad, en lugar de exigir configuraciones específicas heredadas de reactores tradicionales. Un SMR con seguridad pasiva que elimina físicamente la posibilidad de sobrecalentamiento del núcleo mediante circulación natural y características inherentes del diseño puede demostrar que cumple objetivos de seguridad sin necesidad de sistemas activos complejos.

El uso intensivo de análisis probabilístico de riesgo (PRA) para validar seguridad, complementando análisis determinísticos tradicionales, permite evaluación más sofisticada de diseños innovadores. El PRA modela sistemáticamente todos los modos de falla posibles, sus probabilidades, y sus consecuencias, proporcionando visión cuantitativa del riesgo total que diseños prescriptivos tradicionales no capturan adecuadamente.

La NRC está actualmente en proceso de consultas públicas sobre Part 53 antes de su adopción final. Argentina no necesita copiar literalmente este marco, pero puede adaptar sus principios fundamentales. Muchos aspectos de seguridad pasiva de SMR se validan mejor con enfoques basados en desempeño que con regulaciones prescriptivas heredadas de reactores grandes que operan bajo principios físicos parcialmente diferentes.

### **Corea del Sur: inversión en capacidades regulatorias específicas**

La Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) de Corea del Sur logró certificar el SMART-100 (equivalente coreano conceptual del CAREM-25, pero de 100 MW y comercialmente orientado) mediante inversión significativa en capacidades regulatorias específicas para SMR.

La lección clave es que la certificación exitosa de un SMR nacional innovador requiere que el regulador invierta proactivamente en expertise. No puede hacerse "sobre la marcha" con personal formado exclusivamente en reactores tradicionales grandes. La NSSC estableció equipos dedicados de especialistas en termohidráulica de reactores compactos, donde los fenómenos de circulación natural y transferencia de calor operan en escalas diferentes que reactores grandes. Desarrolló capacidades en ciencia de materiales para combustible-

savanzados y refrigerantes alternativos que algunos SMR proponen. Invertió en neutrónica avanzada para núcleos de alta densidad energética que permiten a SMR lograr ciclos de combustible prolongados en volúmenes compactos.

Crucialmente, la NSSC trabajó colaborativamente con KAERI (equivalente coreano de la CNEA) durante el desarrollo del SMART, proporcionando retroalimentación técnica continua sin comprometer su independencia regulatoria. Esta colaboración temprana permitió identificar y resolver problemas de diseño antes de que se convirtieran en barreras insuperables durante el licenciamiento formal.

El financiamiento adecuado del regulador fue fundamental. Corea reconoció que certificar tecnología innovadora nacional requiere invertir en el regulador, no solo en el desarrollador. La NSSC recibió presupuesto ampliado específicamente para construir capacidades en SMR, financiado mediante tasas regulatorias a desarrolladores que solicitan certificación más aportes presupuestarios directos reconociendo el valor estratégico de tener capacidad regulatoria nacional de clase mundial.

Argentina debería tomar nota: la ARN necesitará inversión específica en capacidades para evaluar el ACR-300 efectivamente. Esta inversión no es gasto sino activo estratégico que posiciona a Argentina como regulador moderno capaz de certificar tecnologías avanzadas, lo que tiene valor más allá del ACR-300 específicamente.

### **4.3 Estrategia de modernización regulatoria: tres pilares complementarios**

La modernización regulatoria argentina debe abordarse sistemáticamente a través de tres pilares complementarios que se refuerzan mutuamente: reforma legislativa que proporcione base legal sólida, transformación de procesos regulatorios para competitividad internacional, y fortalecimiento institucional de actores clave.

#### **Pilar 1: Reforma legislativa integral**

Modernización de la Ley 24.804

La ley marco de actividad nuclear de 1997 requiere actualización para reflejar desarrollos tecnológicos de las últimas décadas y crear base legal explícita para marcos regulatorios modernos. Un nuevo capítulo sobre 'Reactores Nucleares Innovadores y Avanzados' fortalecería el marco legal al incluir definiciones precisas de SMR, prototipos, y reactores avanzados, distinguiendo sus particularidades técnicas de reactores tradicionales y reconociendo que requieren enfoques regulatorios diferenciados.

Las facultades explícitas para la ARN se beneficiarían de ampliarse para incluir autorización legal clara para establecer procedimientos de licenciamiento simplificados, escalonados, o acelerados para prototipos y SMR que demuestren características de seguridad inherente. Esto formalizaría legalmente prácticas que se desarrollaron ad-hoc para CAREM-25 y proporcionaría marco claro y predecible para el ACR-300 y futuros proyectos.

El reconocimiento legal de nuevas tecnologías aplicadas a seguridad nuclear fortalecería el marco regulatorio al incorporarse explícitamente.. Gemelos digitales para simulaciones de alta fidelidad; análisis probabilístico de riesgo como complemento obligatorio (no opcional) a análisis determinísticos; inteligencia artificial aplicada a monitoreo y control; todas estas tecnologías están transformando la industria nuclear global y Argentina necesita base legal para que la ARN pueda aceptarlas cuando estén apropiadamente validadas.

## **Pilar 2: Transformación de procesos regulatorios**

### **Implementación de Vendor Design Review argentino**

Argentina fortalecería su posición competitiva al crear un proceso voluntario de revisión de diseños en etapas tempranas, siguiendo el modelo canadiense pero adaptado a capacidades institucionales actuales de la ARN. El proceso operaría en tres fases escalonadas.

La Fase 1, revisión de concepto, puede durar aproximadamente seis meses y proporcionar evaluación preliminar de viabilidad técnica, identificación temprana de desafíos regulatorios significativos que podrían ser insuperables, y retroalimentación sobre si el concepto es suficientemente maduro para justificar inversión adicional en desarrollo detallado. Crucialmente, no habría comprom-

isovinculante para ninguna parte; el desarrollador puede retirar el diseño sin penalidades si la retroalimentación inicial revela problemas fundamentales.

La Fase 2, revisión de diseño básico, se puede extender por 12-18 meses e incluiría análisis de seguridad preliminar con metodologías acordadas entre ARN y desarrollador, validación de enfoques de seguridad pasiva propuestos mediante modelos y simulaciones, retroalimentación específica sobre áreas que requieren desarrollo adicional antes de poder proceder a licenciamiento formal, e identificación de brechas en documentación que deberán cerrarse.

La Fase 3, revisión de diseño detallado, puede tomar 18-24 meses y constituiría evaluación completa de documentación de seguridad con nivel de detalle comparable al requerido para licenciamiento, análisis probabilístico de riesgo exhaustivo validado por revisores independientes, identificación precisa de todos los requisitos que deberán cumplirse para obtener licencia de construcción, y esencialmente pre-certificación del diseño que hace que el licenciamiento formal posterior sea mucho más expeditivo.

La transparencia internacional sería fundamental. La ARN fortalecería la confianza de inversores al publicar reportes de avance por tecnología en revisión, protegiendo información propietaria pero haciendo público el estado general, áreas de preocupación, y progreso. Esto genera confianza en inversores que pueden ver objetivamente cómo avanza el proceso.

### **Marco basado en desempeño para reactores avanzados**

Argentina mejoraría su competitividad al adoptar un enfoque basado en desempeño para SMR con características de seguridad innovadoras, inspirado en Part 53 estadounidense pero adaptado al contexto regulatorio argentino. El principio fundamental es: en lugar de exigir sistemas de seguridad específicos heredados de reactores grandes, establecer objetivos de seguridad cuantificables que pueden cumplirse mediante múltiples soluciones tecnológicas.

La aplicación concreta significaría reconocer que diseños SMR con seguridad pasiva que eliminan físicamente la posibilidad de daño severo al núcleo (mediante circulación natural, enfriamiento por conducción, o características inherentes del combustible y refrigerante) no

requieren necesariamente todos los sistemas de respaldo activos exigidos para reactores tradicionales que dependen de sistemas activos para seguridad.

El proceso de implementación requeriría que la ARN lidere una consulta técnica de 12-18 meses con participación amplia de CNEA, INVAP, universidades con programas nucleares, y expertos internacionales invitados para definir cuáles aspectos del enfoque basado en desempeño son aplicables en Argentina, qué objetivos de seguridad cuantificables son apropiados para diferentes categorías de reactores, y qué metodologías de análisis probabilístico de riesgo serán aceptadas para demostrar cumplimiento.

Es crítico que este proceso sea técnicamente riguroso y transparente. No se trata de "relajar" estándares de seguridad sino de modernizarlos para aceptar soluciones innovadoras que logran niveles equivalentes o superiores de seguridad mediante enfoques diferentes a los tradicionales.

### **Sandboxes regulatorios para innovación controlada**

Inspirándose en iniciativas como "enabling innovation" de la ONR británica,<sup>13</sup> Argentina fortalecería su posición como regulador innovador al implementar sandboxes regulatorios que permitan experimentación controlada sin comprometer seguridad nuclear. El propósito no es relajar estándares sino proporcionar mecanismos flexibles para probar innovaciones antes de su aplicación completa.

Los sandboxes podrían utilizarse para validar gemelos digitales para simulaciones de alta fidelidad antes de su aceptación formal en procesos de licenciamiento, estableciendo criterios claros para aceptar evidencia basada en simulaciones como complemento válido (no reemplazo total) a pruebas físicas tradicionales. También para probar materiales avanzados o combustibles innovadores en condiciones controladas antes de su uso en reactores comerciales, reduciendo riesgo y costo de desarrollo. Y para validar sistemas de control que incorporen machine learning o inteligencia artificial, balanceando beneficios de optimización con requisitos de explicabilidad y verificabilidad que seguridad nuclear exige.

---

13 [Innovation | Office for Nuclear Regulation](#)

Las salvaguardas son fundamentales. Los sandboxes no relajan estándares de seguridad nuclear; operan bajo supervisión intensiva de la ARN con protocolos específicos; tienen duración limitada y objetivos verificables; y los resultados son públicos (protegiendo IP propietaria) para construir conocimiento colectivo.

El beneficio estratégico es que Argentina se posicionaría como regulador moderno dispuesto a evaluar innovaciones con rigor técnico pero sin conservadurismo excesivo que frena progreso. Esto atraería desarrolladores innovadores que en jurisdicciones más conservadoras enfrentan barreras regulatorias insuperables.

### **Reconocimiento de nuevas tecnologías en regulación**

La ARN debe desarrollar marcos específicos para tecnologías que están transformando la industria nuclear global. Para gemelos digitales, establecer criterios claros para aceptar simulaciones de alta fidelidad como evidencia válida en análisis de seguridad, especificando qué nivel de validación experimental se requiere, qué incertidumbres deben cuantificarse, y cómo se integran con análisis tradicionales.

Para ciberseguridad nuclear, definir estándares específicos más allá de normas genéricas de ciberseguridad, reconociendo que infraestructura crítica nuclear requiere protección contra amenazas estatales sofisticadas, no solo hackers convencionales. La NRC estadounidense ha desarrollado marcos robustos en esto que Argentina puede adaptar.<sup>14</sup>

Para inteligencia artificial aplicada a control y monitoreo, desarrollar marco que balancee beneficios de optimización mediante machine learning con requisitos de explicabilidad (poder entender por qué el sistema tomó cierta decisión) y verificabilidad (poder demostrar que el sistema se comportará correctamente en todas las condiciones relevantes) que seguridad nuclear exige absolutamente.

---

<sup>14</sup> <https://www-nrc.gov.translate.google/reactors/power/digital-twins>

## Pilar 3: Fortalecimiento institucional de actores

### ARN: expansión de capacidades para SMR

La Autoridad Regulatoria enfrenta el desafío de evaluar diseños innovadores para los cuales sus capacidades históricas, desarrolladas para fiscalizar reactores existentes de tecnología madura, no son completamente suficientes. La ARN necesita expandir capacidades en áreas específicas sin comprometer su misión fundamental de seguridad.

Personal especializado en tecnologías SMR es crítico. La ARN necesita reclutar o entrenar especialistas en termohidráulica de reactores compactos donde fenómenos de circulación natural operan en regímenes diferentes que reactores grandes; ciencia de materiales para nuevos combustibles (incluyendo refrigerantes alternativos como sales fundidas o lead que algunos diseños avanzados proponen); neutrónica avanzada para núcleos de alta densidad energética; y análisis probabilístico de riesgo avanzado con técnicas modernas de cuantificación de incertidumbre.

Capacidades en digitalización nuclear son cada vez más importantes. La ARN necesita evaluadores capaces de validar gemelos digitales y simulaciones CFD (computational fluid dynamics) de alta fidelidad; expertos en ciberseguridad nuclear que entiendan tanto amenazas cibernéticas como sistemas de control de reactores; y especialistas en inteligencia artificial aplicada a sistemas críticos de seguridad.

Un equipo dedicado específicamente a pre-licenciamiento debe establecerse, separado organizacionalmente de equipos que realizan licenciamiento formal para evitar conflictos de interés, pero con intercambio fluido de información. Este equipo proporcionaría retroalimentación técnica temprana a desarrolladores sin comprometer la independencia regulatoria de la ARN.

La revisión del esquema de financiamiento de la ARN es fundamental. La experiencia coreana demuestra que certificar un SMR innovador requiere inversión significativa en capacidades regulatorias. La ARN necesita presupuesto ampliado para estas funciones, que podría financiarse mediante combinación de tasas regulatorias a desarrolladores que solicitan pre-licenciamiento o certificación

(común internacionalmente) y aportes presupuestarios directos del Estado reconociendo el valor estratégico de tener capacidad regulatoria nacional de clase mundial.

### **Desarrollo del tejido industrial**

Es fundamental mapear exhaustivamente capacidades industriales existentes y brechas en la cadena de valor para manufactura de componentes nucleares, evitando la sobrestimación de capacidades actuales que fue uno de los problemas del CAREM-25. Este mapeo debe ser específico: qué empresas argentinas pueden producir válvulas de alta precisión con certificación nuclear según códigos ASME; qué capacidades existen para soldaduras especializadas que reactores nucleares requieren; qué componentes electrónicos críticos necesariamente deben importarse y de qué proveedores internacionales confiables.

Un Programa Nacional de Proveedores Nucleares podría incluir múltiples componentes interrelacionados. Certificación de capacidades mediante procedimientos claros para que proveedores locales califiquen según códigos internacionales, con sustituciones nacionales equivalentes donde sea técnicamente razonable pero sin comprometer estándares de seguridad. Financiamiento específico para reconversión industrial a través de líneas de crédito del BICE u otro banco de desarrollo, con tasas preferenciales para empresas que quieran alcanzar estándares nucleares, reconociendo que la inversión requerida es significativa y el período de recuperación prolongado.

Alianzas estratégicas facilitadas activamente por el Estado para joint-ventures con empresas internacionales líderes en áreas críticas como vasijas de presión de alta calidad, sistemas de control digital certificados para aplicaciones nucleares, y turbinas optimizadas para SMR. Estas alianzas deben estructurarse para transferencia genuina de tecnología, no solo importación de componentes con ensamblaje local cosmético.

Centros de excelencia regionales aprovechando especialización industrial natural por provincias: capacidades metalúrgicas significativas en Buenos Aires, electrónica y software en Córdoba, capacidades de ingeniería

de precisión en Santa Fe. En lugar de dispersar esfuerzos, concentrar desarrollo de capacidades específicas donde ya existe base industrial relevante.

### **Coordinación institucional: El Consejo Nuclear formalizado**

Una recomendación crítica es establecer el Consejo Nuclear por ley, no decreto, con participación obligatoria de ARN, CNEA, NASA, representantes provinciales... Este Consejo fortalecería la coordinación del sector al tener funciones específicas establecidas legalmente.

Las funciones concretas deben incluir identificar ubicaciones potenciales para SMR con aval provincial preliminar, evitando conflictos políticos tardíos como ha ocurrido históricamente; coordinar estándares de fabricación entre capacidades industriales locales y requisitos regulatorios de la ARN, permitiendo que se acepten códigos internacionales pero facilitando también certificación de proveedores locales cuando sea apropiado; articular políticas industriales sincronizando desarrollo de capacidades regulatorias (ARN) con necesidades de I+D (CNEA), operación (NASA), y manufactura (INVAP y proveedores); y generar transparencia obligatoria reportando públicamente cada seis meses sobre avances, desafíos, decisiones estratégicas tomadas, y uso de recursos públicos si los hubiera.

Hay que tener especial cuidado de que el Consejo (en su diseño y funcionamiento) no termine siendo una burocracia adicional sino un mecanismo genuino de coordinación entre actores.

### **Capacitación y cooperación internacional**

La cooperación internacional debe aprovecharse estratégicamente para acelerar desarrollo de capacidades sin tener que reinventar todo desde cero. Intercambios técnicos mediante acuerdos bilaterales con CNSC canadiense, NRC estadounidense, y ONR británica para entrenar analistas argentinos de la ARN en técnicas modernas de evaluación de SMR, incluyendo pasantías de 6-12 meses donde personal argentino participa en revisiones reales de diseños.

Participación en revisiones conjuntas internacionales. La NRC y CNSC han realizado auditorías conjuntas de diseños SMR para compartir carga de trabajo

y aprendizajes. Argentina podría solicitar incorporarse como observador o participante junior en estos ejercicios. La adhesión al programa FIRST facilita estas oportunidades.

Colaboración con OIEA para posible revisión Generic Reactor Safety Review del ACR-300 una vez que el diseño esté suficientemente maduro. Obtener el sello del OIEA proporcionaría credibilidad internacional significativa que facilitaría exportaciones futuras.

## **4.4 Hoja de ruta para implementación regulatoria**

La modernización regulatoria debe seguir secuencia lógica donde cada fase construye sobre fundamentos de la anterior, evitando intentar hacer todo simultáneamente y generando sobrecarga institucional.

### **Fase 1 (2025-2026): Establecimiento de bases legales**

Las acciones inmediatas deben incluir conformar grupo técnico-legislativo multidisciplinario para redactar anteproyectos de reforma de Ley 24.804 y creación de Ley de Política Nuclear, con participación de juristas especializados en derecho administrativo y energético, técnicos nucleares de CNEA e INVAP, representantes de la ARN, y expertos en política pública.

Reactivar la comisión de energía del Congreso con audiencias públicas específicas sobre modernización nuclear, invitando no solo a funcionarios sino también a académicos independientes, representantes de la industria, y organizaciones de sociedad civil interesadas en energía y ambiente. Estas audiencias deben ser genuinamente deliberativas, no solo ceremoniales.

Consulta pública formal sobre borradores de reformas legislativas durante período mínimo de 90 días, permitiendo que universidades, colegios profesionales, empresas interesadas, y ciudadanía presenten comentarios sustantivos que deben ser respondidos públicamente.

Aprobar reformas con el mayor consenso parlamentario posible, idealmente mayorías de dos tercios de ambas cámaras para blindaje político máximo, reconociendo que política nuclear requiere con-

tinuidad más allá de cicloselectorales. Si dos tercios no es alcanzable, buscar al menos mayoría absoluta amplia que demuestre respaldo transversal.

El resultado esperado de esta fase es marco legal actualizado que proporciona base jurídica clara para modernización regulatoria y genera certidumbre institucional fundamental para inversores, tanto nacionales como internacionales.

## **Fase 2 (2027-2028): Transformación regulatoria operativa**

Las acciones de esta fase incluyen implementar proceso VDR argentino con manual de procedimientos público detallado que especifique timelines, requisitos documentales, costos de tasas regulatorias, y criterios de evaluación. El manual debe ser producto de consulta con desarrolladores potenciales y reguladores internacionales para asegurar que es competitivo.

Fortalecer capacidades técnicas de la ARN mediante contrataciones especializadas de aproximadamente 15-20 profesionales adicionales en áreas identificadas: termohidráulica de SMR, análisis probabilístico de riesgo avanzado, ciberseguridad nuclear, validación de gemelos digitales. Estas contrataciones deben hacerse con salarios competitivos internacionalmente, reconociendo que se compite por talento escaso.

Establecer marco formal de transparencia pública con reportes trimestrales sobre proyectos en pre-licenciamiento, avances en revisiones, áreas de preocupación identificadas, y cronogramas actualizados. Los reportes deben publicarse en sitio web de la ARN con formato accesible, no solo PDF técnicos impenetrables.

Lanzar programa piloto de sandbox regulatorio con primer proyecto específico, que podría ser validación de gemelos digitales para simulaciones termo-hidráulicas del ACR-300. Este piloto proporcionaría aprendizajes sobre cómo operacionalizar sandboxes antes de expandir el concepto.

El resultado esperado es que la ARN sea reconocida internacionalmente como regulador moderno dispuesto a evaluar innovaciones con rigor técnico pero sin conservadurismo que frena progreso innecesariamente. Esto posiciona a Argentina competitivamente para atraer desarrolladores.

### **Fase 3 (2029-2030): Posicionamiento competitivo internacional**

Las acciones de esta fase final incluyen certificar el ACR-300 bajo nuevo marco regulatorio modernizado, demostrando que el sistema funciona efectivamente para diseños innovadores argentinos. Esta certificación debe completarse en timeline competitivo internacionalmente (aproximadamente 3-4 años desde inicio de proceso formal).

Obtener reconocimiento del OIEA mediante Generic Reactor Safety Review para diseño certificado del ACR-300, proporcionando sello internacional de calidad que facilita exportaciones significativamente, especialmente a países que carecen de capacidades regulatorias sofisticadas propias.

Atraer primeras inversiones internacionales significativas con certidumbre jurídica y regulatoria completa. Los inversores deben poder ver que Argentina tiene no solo capacidades técnicas sino también marco institucional predecible para desarrollo nuclear comercial.

Posicionar Argentina explícitamente como exportador de SMR certificados internacionalmente, no solo como país con capacidades nucleares internas. Este posicionamiento requiere marketing activo en foros internacionales, participación en ferias de tecnología nuclear, y diplomacia energética dirigida específicamente a países latinoamericanos y potencialmente africanos o asiáticos.

El resultado esperado es el primer ACR-300 en construcción con financiamiento comprometido, cadena de proveedores industriales en desarrollo activo, pipeline de pedidos internacionales preliminares, y Argentina reconocida como jugador serio en mercado global emergente de SMR.

# CONCLUSIONES: CONDICIONES PARA EL ÉXITO

## **Argentina tiene las capacidades técnicas para ejecutar el plan**

Argentina domina el diseño de reactores, demostrado en décadas de exportaciones exitosas de INVAP a mercados exigentes. El Instituto Balseiro produce capital humano de clase mundial. NA-SA opera centrales con estándares de seguridad reconocidos internacionalmente. El ACR-300 cuenta con patente estadounidense y diseño conceptualmente superior al CAREM-25 en escala, modularidad y orientación comercial.

El mercado latinoamericano ofrece demanda concreta: Uruguay necesita baseload confiable para complementar su matriz 98% renovable pero intermitente. Chile enfrenta déficit post-carbón y geografía que obliga a transmisión de larga distancia. Perú requiere energía para minería en zonas remotas. Ecuador busca independencia de importaciones costosas. Esta ventana de oportunidad no permanecerá abierta indefinidamente.

### **El desafío: construir el marco institucional mientras se ejecuta**

La brecha no es técnica sino de marcos que faciliten ejecución efectiva. Los 51 diseños de SMR que avanzan internacionalmente operan en países que invirtieron en modernizar regulación, estructurar financiamiento, y consolidar cadenas de proveedores. Argentina debe construir estos elementos en paralelo al desarrollo del ACR-300.

Marcos regulatorios: Implementar VDR argentino que permita pre-certificación antes de comprometer capital en construcción. Adoptar enfoques basados en desempeño para reactores con seguridad pasiva. Fortalecer capacidades técnicas de ARN en termohidráulica de SMR y análisis probabilístico de riesgo avanzado. Obtener validación OIEA del diseño para credibilidad internacional. Todo esto requiere inversión específica en la ARN durante 2025-2027.

Instrumentos de financiamiento: RIGI proporciona estabilidad fiscal de largo plazo sin desembolso inmediato. PPAs privados con mineras, productores de hidrógeno verde y data centers generan flujo de ingresos predecible. Garantías estatales limitadas (20-30% de capacidad) reducen riesgo sin que el Estado sea comprador principal. Financiamiento multilateral regional diversifica riesgo país si se articula un consorcio.

Cadena de proveedores: Mapear exhaustivamente qué empresas argentinas pueden certificarse para componentes nucleares y qué brechas requieren alianzas con proveedores internacionales. Financiar reconversión industrial mediante líneas específicas que reconozcan la inversión prolongada necesaria para alcanzar estándares ASME. Establecer joint-ventures en áreas críticas (vasijas de presión, sistemas de control digital certificados).

Integración regional: Certificación ARN modernizada + validación OIEA permite negociar reconocimiento bilateral con países vecinos, reduciendo duplicación costosa de procesos regulatorios. Argentina replica modelo probado en reactores de investigación: vende diseño certificado, asiste establecimiento de marco regulatorio local con OIEA, proporciona soporte operativo inicial.

Estos elementos no son "requisitos previos" que bloquean la ejecución. Son construcciones en paralelo que aceleran la captación de capital y reducen el riesgo de ejecución.

### **Legitimación mediante resultados, no mediante proceso previo**

El plan puede legitimarse ejecutando exitosamente mientras construye institucionalidad progresivamente. La reforma de Ley 24.804 y creación de Ley de Política Nuclear con respaldo parlamentario amplio fortalecen la sostenibilidad, pero no deben convertirse en barreras que impidan avanzar mientras se tramitan.

La formalización del Consejo Nuclear por legislación, los mecanismos de transparencia sobre uso de recursos, y la participación parlamentaria en decisiones sobre nuevos reactores pueden implementarse gradualmente conforme el proyecto avanza y demuestra resultados. La legitimidad se construye mediante ejecución efectiva tanto como mediante proceso formal.

# APÉNDICE: CONTEXTO HISTÓRICO DEL DESARROLLO NUCLEAR ARGENTINO

## Los orígenes: objetivos ocultos y herencia militar

En 1950, cuando muchos países de la región ni soñaban con desarrollar tecnología propia, Argentina fundaba la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Ese fue el primer paso de un camino que convirtió al país en una rareza latinoamericana: una nación capaz de desarrollar tecnología nuclear desde cero.

Para entender las contradicciones actuales del sector nuclear argentino, conversamos con Jorge Lapeña, ingeniero nuclear que ocupó roles centrales en la política energética nacional: Secretario de Energía durante el gobierno de Alfonsín (1986-1988), presidente de YPF (1987-1988), presidente de la CNEA (2000-2002), y desde 1985 preside el Instituto Argentino de Energía "General Mosconi". Su perspectiva única abarca tanto la dimensión petrolera como nuclear del desarrollo energético argentino.

Lapeña nos ofreció una lectura crítica de la historia nuclear argentina que raramente se discute en público: la preponderancia del sector militar en el desarrollo del programa nuclear y los objetivos no declarados que desviaron recursos y distorsionaron prioridades estratégicas durante décadas cruciales.

Según Lapeña, "uno de los objetivos no declarados del plan nuclear argentino siempre fue obtener una bomba atómica". Esta orientación militar explicaría por qué Argentina desarrolló capacidades sofisticadas de enriquecimiento de uranio pero nunca logró consolidar una industria comercial de reactores de potencia. Los recursos se concentraron en dominar el enriquecimiento —la tecnología crítica para armamento nuclear— más que en construir una cadena de valor comercial completa.

Esta perspectiva explica una paradoja fundamental que pocos han articulado claramente: ¿por qué un país que domina tecnologías nucleares avanzadas

noproduce comercialmente el uranio que necesita para sus propias centrales?  
¿Por qué Argentina, que exporta reactores de investigación sofisticados al mundo, nunca desarrolló una industria exportadora de reactores de potencia comercialmente viables?

La competencia geopolítica con Brasil alimentó esta carrera durante las décadas de 1970 y 1980. Cuando ambos países lograron enriquecer uranio en los años 80, la hipótesis de conflicto que los sectores militares de ambos países habían alimentado derivó en una "salida pacífica" inesperada: el nacimiento del Mercosur como instrumento de integración regional y la firma, el mismo año, del Acuerdo Bilateral entre la República Argentina y la República Federativa del Brasil para el uso exclusivo de la energía nuclear con fines pacíficos, conocido como Acuerdo de Guadalajara.

Incluso durante la década del 80, con la dictadura ya finalizada y en procesos de consolidación democrática, los militares mantuvieron injerencia significativa en la ejecución del programa nuclear. Solo gradualmente, y especialmente después de Chernóbyl (1986) que afectó dramáticamente la reputación global de la industria nuclear, el impulso de los programas nucleares con objetivos no pacíficos perdió fuerza política, lo que también afectó las ambiciones nucleares argentinas de ese período.

Esta herencia institucional explica muchos de los problemas actuales: un sector acostumbrado a operar "a puertas cerradas" donde la transparencia se consideraba riesgo de seguridad, con objetivos estratégicos no siempre explícitos públicamente, y una tradición de decisiones centralizadas sin suficiente escrutinio democrático. Superar este legado requiere esfuerzo consciente y sostenido.

## El entramado institucional: principales hitos cronológicos

| Año  | Hito                                                                                      |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1950 | Se crea la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica)                                    |
| 1952 | Se clausura el fallido Proyecto Huemul. José Antonio Balseiro lo evalúa críticamente      |
| 1955 | Se funda el Instituto Balseiro, en convenio entre la CNEA y la Univ. Nacional de Cuyo     |
| 1957 | Entra en operación el RA-1, primer reactor argentino (Centro Atómico Constituyentes)      |
| 1967 | Comienza a operar el RA-0 en Córdoba (facultad de Ciencias Exactas, UNC)                  |
| 1969 | Se inaugura el Centro Atómico Bariloche (CNEA)                                            |
| 1974 | Entra en operación Atucha I, primer reactor de potencia nuclear de América Latina         |
| 1977 | Comienza a operar el RA-3 en Ezeiza, principal reactor de producción de radioisótopos     |
| 1982 | Se inaugura el RA-4 en Rosario (UNR)                                                      |
| 1984 | Entra en operación la Central Embalse, reactor CANDU                                      |
| 1986 | Se pone en marcha el RA-6, en el Centro Atómico Bariloche, usado para formación y pruebas |
| 1994 | Se crea NA-SA, empresa estatal para operar las centrales Atucha I, II y Embalse           |
| 1995 | Se inaugura el reactor Escuela en la sede de la CNEA en Formosa                           |

| Año       | Hito                                                                                                    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1997      | Se crea la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) como ente independiente                                  |
| 2006      | Se relanza el Plan Nuclear Argentino. Se reanuda Atucha II y se lanza el proyecto CAREM                 |
| 2010      | Comienza el proyecto del RA-10, reactor multipropósito de última generación (en construcción en Ezeiza) |
| 2014      | Entra en operación Atucha II, completada tras décadas                                                   |
| 2015-2023 | Avances en el reactor CAREM 25 (primer reactor modular de potencia diseñado localmente)                 |
| 2023      | El gobierno suspende la ejecución presupuestaria del CAREM-25                                           |

## Las centrales nucleares argentinas: infraestructura consolidada

Atucha I (Buenos Aires). La construcción comenzó el 1 de junio de 1968 y fue la primera central nuclear de América Latina. El reactor es de tipo PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor), diseñado y construido por KWU bajo un contrato "llave en mano". Entró en operación comercial el 24 de junio de 1974.

Atucha II (Buenos Aires). La construcción se inició en 1981, también con diseño de KWU. A diferencia de Atucha I, este proyecto fue gestionado por ENACE S.A. (Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas), una empresa mixta creada en 1980 con participación mayoritaria del Estado argentino y Siemens AG. La obra fue paralizada en 1994 y retomada en 2006 con la "reactivación" del plan nuclear impulsada por el gobierno de Néstor Kirchner, finalizándose en 2014.

Embalse (Córdoba). Esta central fue un pilar clave en la generación eléctrica del sistema interconectado nacional, y también productor internacional de cobalto-60, un radioisótopo utilizado en aplicaciones médicas e industriales.

Financiamiento y diseño: Todos los reactores de potencia fueron construidos con financiamiento del Estado Nacional exclusivamente. Ninguno fue diseñado en Argentina, a diferencia de los reactores de investigación, casi todos con diseño argentino desarrollado por la CNEA o INVAP.

## El ecosistema de formación profesional

| Universidad                 | Carreras principales                                                                                                                                     |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNCuyo (Instituto Balseiro) | Ingeniería Nuclear, Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Telecomunicaciones, Licenciatura en Física, Maestrías y Doctorados en Física e Ingeniería Nuclear |
| UNCórdoba                   | Lic. en Física, Ingeniería Nuclear (en convenio con CNEA, uso del RA-0), carreras de grado y posgrado                                                    |
| UNRosario                   | Ingeniería Electrónica, Licenciatura en Física (usa el RA-4), programas de formación técnica                                                             |
| UNSAM                       | Tecnicaturas, Ingeniería en Energía Nuclear, Maestrías en Tecnología Nuclear, Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear. Usa el RA-1                     |
| UNaFormosa                  | Formación de técnicos nucleares (con el reactor escuela de la CNEA)                                                                                      |
| UNRNegro                    | Oferta académica en energía e ingeniería, con vínculo con el Instituto Balseiro                                                                          |
| UBA                         | Licenciatura en Física, posgrados vinculados con energía, investigación básica en física nuclear                                                         |

El CONICET no dicta carreras universitarias, pero desempeña un papel fundamental en la formación de recursos humanos a través de becas doctorales y post doctorales, proyectos de investigación y desarrollo, cursos de capacitación en manejo de material radioactivo y participación en programas internacionales de cooperación científica.

## Los actores institucionales

La CNEA es la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, organismo gubernamental creado en 1950, encargado de promover, desarrollar y regular las actividades relacionadas con la energía nuclear. No es el organismo regulador - ese lugar le corresponde a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), creada en 1994.

INVAP es una empresa privada propiedad de la Provincia de Río Negro, establecida en 1976. Su nombre proviene de "Investigación Aplicada" y destaca en la producción de satélites y reactores de investigación, habiendo exportado reactores a Argelia, Egipto, Bolivia y Australia. En la carrera por el desarrollo de reactores modulares pequeños (SMR), INVAP obtuvo en 2024 una patente en Estados Unidos para el diseño de un reactor nuclear modular compacto denominado ACR-300. La patente fue otorgada por la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO) el 6 de agosto de 2024 a la empresa Meitner Energy, creada por INVAP en Estados Unidos para realizar el trámite y atraer inversores para financiar el proyecto.

Nucleoeléctrica Argentina (NA-SA) es la empresa estatal que opera las centrales nucleares del país.

La Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) es un organismo autónomo creado en 1994 bajo la Ley Nacional de la Actividad Nuclear (N° 24.804), encargado de la regulación y fiscalización de la seguridad radiológica y nuclear, la protección física, el control del uso de materiales nucleares y el licenciamiento de las instalaciones nucleares. Su independencia institucional es crucial para garantizar que las decisiones de seguridad nuclear no estén influenciadas por consideraciones políticas o comerciales.

Podemos decir, entonces, que son la CNEA, NA-SA e INVAP en colaboración estrecha con el Instituto Balseiro de Bariloche quienes lideran la innovación nuclear en Argentina y, ahora, están embarcadas en la construcción de reactores de potencia, un casillero de la lista de capacidades nucleares que Argentina intenta marcar.

En otro hito de su desarrollo científico, Argentina llegó a tener minería y procesamiento de uranio, pero la actividad fue paralizada durante la década del 90 debido a alineamientos geopolíticos, cuestiones de competitividad en el proceso y bajo valor del precio internacional del uranio.

Si bien hoy no se enriquece uranio a nivel comercial ni para combustible de nuestras propias centrales nucleares, haberlo logrado en el pasado demuestra la alta capacidad de Argentina en un sector estratégico y con enorme potencial exportador, pero con condicionamientos para su desarrollo.

Por último, es importante saber que el desarrollo de energía nuclear es un sector altamente regulado por la Agencia Internacional de Energía Atómica de la ONU, cuyo titular es Rafael Grossi, un argentino. Nuestro país se encuentra adherido desde 1995 al TNP (Tratado de No Proliferación Nuclear).

## SÍNTESIS DE CAPACIDADES ACUMULADAS

En síntesis, Argentina cuenta con más de 70 años de política de Estado sostenida en ciencia y tecnología nuclear; capacidades de diseño, construcción y operación de reactores de investigación (INVAP, CNEA); dominio histórico del ciclo completo del combustible nuclear (desde la minería de uranio hasta la producción de radioisótopos, aunque algunas capacidades están actualmente dormidas); exportación probada de reactores y tecnología de alto valor agregado; desarrollo, aunque con controversias significativas, de un reactor de potencia propio (CAREM); diseño conceptual patentado de otro reactor de potencia (ACR-300 de INVAP); y capital humano especializado e instituciones consolidadas (CNEA, INVAP, NA-SA, Instituto Balseiro, Universidades).

Cuando hoy se habla del nuevo plan nuclear del gobierno, hay algo que no se puede pasar por alto: no partimos de cero. Lo que está sobre la mesa no es solo una promesa de futuro, es una decisión sobre qué hacer con un capital estratégico que ya tenemos. Hablar de energía nuclear no es cosa de técnicos exclusivamente, es hablar de política, de proyecto de país, de cómo usamos el conocimiento que supimos construir.

Pero lo crucial de esta historia es lo que revela sobre patrones institucionales. Las decisiones tomadas entre 1950 y 1990 estuvieron fuertemente influenciadas por consideraciones militares que desviaron el desarrollo hacia el enriquecimiento, en sentido contrario al de una industria comercial de reactores. No menos importante es el hecho de que, finalizado el periodo de influencia militar sobre el desarrollo nuclear, la política continuó ejerciendo un control que frecuentemente fue contraproducente sobre la innovación del sector. Bajo el paraguas de una supuesta soberanía nuclear el resultado parece haber sido, en muchos casos, el contrario al anunciado.

Esta historia de estatismo —primero militar, luego político— puede explicar, entre otros motivos, por qué hoy Argentina tiene capacidades técnicas reconocidas mundialmente pero carece de una industria nuclear comercial consolidada. El desafío actual es cómo capitalizar esas capacidades sin repetir los errores del pasado. El gobierno argentino propone un cambio de lógica en la política nuclear para favorecer la iniciativa privada. Si esto funcionará o no dependerá crucialmente de si se implementan las condiciones institucionales, regulatorias y financieras que este informe ha identificado como necesarias.

EL PLAN NUCLEAR DESDE UNA PERSPECTIVA GEOLÓGICA

URANIO Y TIERRAS RARAS. ¿TENEMOS EL COMBUSTIBLE?

POR LEANDRO RODRIGUES CAPITULO

Cuando hablamos del ambicioso plan nuclear argentino que pretende posicionar al país como un jugador global en el desarrollo y exportación de pequeños reactores modulares (SMR), es imprescindible observar no solo la capacidad tecnológica e industrial, sino también la base geológica que lo sustenta. Como geólogo, puedo afirmar que incluso el proyecto más brillante depende de algo elemental: la disponibilidad del combustible.

El uranio, materia prima indispensable para la industria nuclear, es el punto de partida de cualquier discusión seria sobre soberanía energética nuclear. Y aquí aparece una paradoja digna de análisis: Argentina no produce uranio actualmente, a pesar de contar con recursos significativos en su territorio. El último yacimiento en operación cerró en 1997, y desde entonces, el país importa todo el uranio que necesita para sus centrales nucleares existentes.

Los datos geológicos no mienten: Argentina posee reservas identificadas de aproximadamente 11.000 toneladas de uranio (tU), con potencial para 80.000 tU adicionales como "objetivos de exploración" según estimaciones de la CNEA. Sin embargo, estos recursos enfrentan desafíos que van más allá de su mera existencia física.

El mapa del uranio argentino

Los yacimientos de uranio en Argentina presentan una distribución geográfica diversa, cada uno con sus particularidades técnicas y legales. A continuación, se detallan los principales depósitos y otros yacimientos secundarios:

| Yacimiento     | Provincia | Tipo geológico         | Reservas estimadas | Situación actual      | Principales desafíos                            | Relevancia |
|----------------|-----------|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|------------|
| Cerro Solo     | Chubut    | Areniscas (roll-front) | 4.600 tU           | Exploración avanzada  | Ley XVII-68 que prohíbe minería a cielo abierto | Alta       |
| Sierra Pintada | Mendoza   | Vetiforme hidrotermal  | 6.500-10.000 tU    | Clausurada desde 1997 | Ley 7722 que limita uso de químicos en minería  | Alta       |

| Yacimiento                | Provincia | Tipo geológico                     | Reservas estimadas                   | Situación actual                              | Principales desafíos                         | Relevancia |
|---------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|------------|
| <b>Amarillo Grande</b>    | Río Negro | Asociado a intrusivos graníticos   | 8.750 tU (inferidas)                 | Exploración avanzada con evaluación económica | Resistencia social                           | Alta       |
| <b>Laguna Salada</b>      | Chubut    | Volcánico-sedimentario superficial | Sin reservas probadas, en evaluación | Evaluación preliminar                         | Mismo marco legal restrictivo que Cerro Solo | Alta       |
| <b>Don Otto</b>           | Salta     | Areniscas                          | ~200 tU remanentes                   | Inactiva desde 1981                           | Infraestructura deteriorada                  | Media      |
| <b>Huemul</b>             | Mendoza   | Vetiforme                          | Parcialmente agotado                 | Cerrada                                       | Pasivos ambientales                          | Baja       |
| <b>Los Gigantes</b>       | Córdoba   | Vetiforme                          | Parcialmente agotado                 | Cerrada desde 1990                            | Pasivos ambientales, Ley 9526                | Baja       |
| <b>Quebrada de Alipán</b> | La Rioja  | Sedimentario                       | En exploración                       | Proyecto exploratorio en pausa                | Resistencia social, economía de escala       | Baja       |
| <b>Río Colorado</b>       | Catamarca | Hidrotermal                        | ~6.400 tU (objetivo)                 | Exploración inicial                           | Falta de infraestructura                     | Media      |
| <b>La Niquelina</b>       | Jujuy     | Vetiforme                          | Pequeñas reservas                    | Exploración básica                            | Topografía compleja                          | Baja       |
| <b>Meseta Central</b>     | Chubut    | Areniscas                          | En evaluación                        | Exploración                                   | Restricciones legales                        | Media      |

Tabla 1. Distribución geográfica, características y situación actual de los principales yacimientos de uranio en Argentina.

Esta radiografía geológica revela que, pese a tener recursos significativos, ningún depósito está en etapa de producción comercial actualmente. Las legislaciones provinciales restrictivas, la falta de inversión sostenida y la ausencia de licencia social han mantenido estos recursos bajo tierra.

El panorama legal provincial representa uno de los principales obstáculos. En el caso de Chubut, la Ley XVII-68 (ex Ley 5001) prohíbe la minería metalífera a cielo abierto y el uso de cianuro en todo el territorio provincial desde 2003. Si bien no menciona específicamente al uranio, en la práctica ha bloqueado el desarrollo de proyectos como Cerro Solo.

Para destrabar esta situación serían necesarias tres vías complementarias: (1) una modificación legislativa en la legislatura provincial que permita excepciones para proyectos estratégicos o que establezca una zonificación; (2) el desarrollo técnico de métodos extractivos alternativos como la minería subterránea o la lixiviación in situ que no contravengan la prohibición de minería a cielo abierto; y (3) un acuerdo político-económico entre Nación y Provincia que contemple beneficios específicos para las comunidades locales.

En Mendoza, la Ley 7722 (2007) impide el uso de sustancias químicas como cianuro, mercurio y ácido sulfúrico en la minería metalífera. Como la extracción de uranio típicamente requiere lixiviación química, esta norma ha impedido la reactivación de Sierra Pintada.

Un intento de modificar esta ley en 2019 generó masivas protestas que obligaron a retroceder al gobierno provincial. El camino para resolver este impasse probablemente requiera el diseño de un proyecto específico para uranio con garantías ambientales excepcionales que pudiera tramitarse como una excepción legislativa.

Un caso similar ocurre en Córdoba con la Ley 9526/2008, que surgió tras los pasivos ambientales dejados por la mina Los Gigantes. Esta situación demuestra que la confianza pública perdida por malas prácticas del pasado representa un obstáculo tan real como cualquier barrera geológica.

Si consideramos que un reactor modular como el ACR-300 consumiría entre 50-60 toneladas de uranio anualmente, la instalación de varios módulos -como propone el plan gubernamental- requeriría asegurar un suministro constante de combustible. Planificar la exportación de múltiples reactores sin resolver la provisión del uranio sería como diseñar un automóvil sin garantizar la producción de sus motores.

### El desafío técnico-ambiental y la licencia social

La extracción de uranio no es una actividad minera cualquiera. Desde una perspectiva geológica y ambiental, presenta complejidades específicas que deben abordarse con rigor científico:

1. Métodos de extracción adaptados a cada yacimiento: No existe una solución única. En Cerro Solo (Chubut), por ejemplo, la profundidad y configuración del yacimiento podría requerir técnicas de minería subterránea o lixiviación in situ, evitando el controversial método a cielo abierto prohibido por la legislación provincial.
2. Gestión integral del ciclo: La minería es solo el primer paso. El uranio extraído debe convertirse en dióxido de uranio, y posiblemente enriquecerse (actualmente Argentina no cuenta con capacidad de enriquecimiento a escala industrial). Luego debe fabricarse el combustible, gestionarse durante su uso y, finalmente, manejarse como residuo.

3. Gestión ambiental rigurosa: La experiencia mundial demuestra que la minería de uranio puede realizarse con estándares ambientales elevados, minimizando impactos. Sin embargo, casos históricos como Los Gigantes en Córdoba (que dejó pasivos ambientales) han generado comprensible desconfianza pública.

El concepto de licencia social para operar —ese consentimiento tácito pero fundamental de las comunidades locales— es particularmente crítico en proyectos de uranio. La experiencia internacional demuestra que esta licencia social no se obtiene mediante imposición, sino a través de:

- Transparencia informativa: Compartir datos técnicos, estudios ambientales y planes de contingencia en formatos accesibles.
- Participación temprana: Involucrar a las comunidades desde la fase de exploración, no solo cuando las decisiones ya están tomadas.
- Beneficios compartidos: Establecer mecanismos de distribución de beneficios que aseguren que las comunidades locales participen tangiblemente del desarrollo.
- Monitoreo participativo: Implementar sistemas donde representantes comunitarios, junto con expertos independientes, participen en el seguimiento ambiental.
- Garantías financieras: Constituir fondos de remediación y cierre que aseguren la restauración del sitio al finalizar la actividad.

Las experiencias de países como Canadá o Australia demuestran que la minería de uranio puede coexistir con altos estándares ambientales y aceptación comunitaria cuando estos principios se aplican rigurosamente.

El factor tiempo y la planificación realista

Se debe subrayar un aspecto crítico: los tiempos geológicos y mineros no se alinean fácilmente con los anuncios políticos. El desarrollo de una mina de uranio, considerando exploración detallada, estudios de factibilidad, obtención de permisos, construcción de infraestructura y puesta en operación, requiere entre 8 y 15 años en condiciones óptimas.

Si el primer ACR-300 se proyecta para 2030, como sugiere el plan gubernamental, es materialmente imposible que utilice uranio argentino si no se inician inmediatamente las gestiones para reactivar la minería. Esto implica no solo inversiones, sino acuerdos políticos con las provincias que detentan la propiedad de los recursos minerales. En este sentido la Provincia de Chubut viene mostrando una agenda activa.

## LAS TIERRAS RARAS: UN CAPÍTULO COMPLEMENTARIO

Al ampliar la mirada más allá del uranio, aparece una oportunidad geológica fascinante: las tierras raras, esos 17 elementos químicos cruciales para la tecnología moderna que frecuentemente coexisten con los yacimientos de uranio.

Las tierras raras son fundamentales para la fabricación de imanes permanentes utilizados en turbinas eólicas, vehículos eléctricos y —significativamente— en componentes de reactores nucleares. El gadolinio, por ejemplo, es empleado en barras de control nuclear por su alta capacidad de absorción neutrónica.

Argentina posee varios yacimientos prometedores, aunque ninguno ha alcanzado la etapa de producción comercial:

| Yacimiento                        | Provincia                   | Tipo de depósito          | Recursos estimados                     | Estado actual                            | Elementos principales           |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Rodeo de los Molles</b>        | San Luis                    | Fenitas alcalinas         | 117.600 t de óxidos REE + 950 t uranio | Exploración avanzada, proyecto en espera | Bastnasita (La, Ce, Nd)         |
| <b>Susques</b>                    | Jujuy                       | Stockwork, vetas          | Parte de 35.300 t REE regionales       | Exploración temprana                     | REE ligeras e itrio             |
| <b>Cachi</b>                      | Salta                       | Pegmatitas, carbonatitas  | En evaluación                          | Exploración inicial                      | Monacita, cerianita, tantalatos |
| <b>Río Tercero</b>                | Córdoba                     | Placer fluvial (monacita) | 15.500 t REE + 850 t torio             | Sin desarrollo, zonas agrícolas          | Monacita (Ce, La, Nd)           |
| <b>Río Quinto</b>                 | San Luis                    | Placer fluvial            | 260 t de torio asociado a REE          | Sin desarrollo                           | Monacita                        |
| <b>Valle Fértil (La Teodósia)</b> | San Juan                    | Placer residual           | Pequeña producción histórica (1954-56) | Inactiva                                 | Monacita                        |
| <b>El Quemado</b>                 | Córdoba                     | Pegmatitas LCT            | Ocurrencias puntuales                  | Investigación básica                     | Allanita, columbita, circón     |
| <b>Sierra de Ambar-gasta</b>      | Santiago del Estero/Córdoba | Alcalinas, pegmatitas     | Anomalías detectadas                   | Exploración básica                       | Asociados a torio               |

| Yacimiento      | Provincia    | Tipo de depósito   | Recursos estimados          | Estado actual     | Elementos principales |
|-----------------|--------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Región Ventania | Buenos Aires | Rocas precámbricas | En investigación preliminar | Estudio académico | En evaluación         |

Tabla 2. Principales yacimientos de tierras raras en Argentina: ubicación, tipología y estado de desarrollo.

Esta convergencia geológica entre uranio y tierras raras ofrece una oportunidad de desarrollo integral: la misma actividad minera podría proveer tanto el combustible para reactores como materiales críticos para tecnologías de punta, incluyendo los data centers que el plan gubernamental pretende atraer. El desafío principal es pasar de la exploración a la evaluación económica detallada, considerando que estos minerales requieren procesos complejos de separación y purificación para ser aprovechados industrialmente.

## RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA UN PLAN VIABLE

Desde una perspectiva geológica y ambiental, un plan nuclear realmente soberano debería considerar:

1. Integración de la cadena de valor mineral-energética: Desarrollar simultáneamente capacidades de extracción, procesamiento y fabricación tanto para uranio como para tierras raras, aprovechando sinergias.
2. Coordinación federal efectiva: Establecer acuerdos marco con provincias como Chubut, Mendoza y Río Negro, donde se concentran los recursos, para armonizar criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos.
3. Inversión en exploración avanzada: Incrementar el conocimiento geológico detallado de los yacimientos, pasando de recursos inferidos a reservas medibles, condición indispensable para planificaciones realistas.
4. Participación comunitaria desde el inicio: Implementar modelos de diálogo social y mecanismos de consulta transparentes para construir la licencia social que estos proyectos demandan.
5. Desarrollo de tecnologías extractivas adaptadas: Invertir en métodos de menor impacto ambiental como lixiviación in situ o minería subterránea selectiva, que podrían ser compatibles incluso con marcos legales restrictivos.

## CONCLUSIÓN: UNA OPORTUNIDAD QUE REQUIERE REALISMO

El capital geológico argentino, tanto en uranio como en tierras raras, podría efectivamente sustentar un plan nuclear ambicioso y soberano. Sin embargo, para transformarse en una realidad, este plan debe reconocer las complejidades territoriales, técnicas y temporales que implica.

No estamos partiendo de cero en capacidad científica y tecnológica, como bien señala el análisis previo. Pero tampoco estamos listos para iniciar la producción inmediata de uranio o tierras raras. El camino es factible, pero requiere inversiones sostenidas, acuerdos políticos duraderos y, sobre todo, una planificación basada en la realidad geológica y no solamente en la voluntad política.

Como país, tenemos el conocimiento y los recursos. El desafío es saber hilvanarlos en un proyecto coherente que trascienda los ciclos electorales y reconozca que la naturaleza impone sus propios tiempos. Los minerales no se extraen con anuncios, sino con trabajo metódico, científico y socialmente responsable.